

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

*ESTUDO DO EFEITO DA SUBSOLAGEM NUM SOLO
MEDITERRÂNEO REGADO POR SULCOS*

LUÍS SIMÃO DUARTE DE MATOS

*Évora
1998*

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

***ESTUDO DO EFEITO DA SUBSOLAGEM NUM SOLO
MEDITERRÂNEO REGADO POR SULCOS***

LUÍS SIMÃO DUARTE DE MATOS

*Dissertação apresentada na Universidade de
Évora para satisfação parcial dos requisitos
para obtenção do grau de Mestre*

**Évora
1998**



88 867

*Para a elaboração deste trabalho beneficiou-se de uma bolsa da
Fundação para a Ciência e Tecnologia/Programa PRAXIS XXI*

ÍNDICE

Índice -----	i
Lista de símbolos utilizados -----	v
Índice de quadros -----	vii
Índice de figuras -----	ix
Lista de anexos -----	xii
Resumo -----	xiii
Abstract -----	xv
1. Introdução e objectivos -----	1
1.1. Introdução-----	2
1.2. Objectivos-----	4
2. O solo, a subsolagem e a rega -----	6
2.1. O solo e a sua formação-----	7
2.1.1. Características da argiluviação como processo pedogenético-----	7
2.2. A subsolagem, sua acção sobre as condições físicas do solo-----	12
2.2.1. Horizontes compactados-----	12
2.2.2. Actuação sobre o horizonte compactado-----	13
2.2.3. Subsoladores -----	14
2.2.4. Estudos de subsolagem-----	15
2.2.5. Limitações da subsolagem -----	16
2.3. A rega -----	18
2.3.1. Necessidade de automatização da rega de superfície -----	18
2.3.2. O Cabo-rega-----	19

2.3.2.1. Descrição e funcionamento do sistema-----	20
2.3.2.2. Controle da rega-----	22
2.3.3. O método “Cabogest”-----	24
2.3.3.1. Parâmetros a introduzir no “Cabogest”-----	26
2.4. Equações da infiltração-----	27
2.5. Determinação da equação da infiltração através do método do balanço volumétrico-----	28
3. Parâmetros medidos-----	33
3.1. Condutividade hidráulica-----	33
3.2. Densidade aparente -----	34
3.3. Porosidade-----	35
3.3.1. Relação entre porosidade e densidade aparente -----	36
3.4. Resistência à penetração-----	37
3.5. Perfil de humidade e sua evolução -----	38
3.6. Perfil radical -----	39
3.7. Produção da cultura-----	40
4. Material e métodos-----	42
4.1 Localização e duração do ensaio-----	42
4.2. Caracterização do solo-----	42
4.3. Organização do terreno em blocos de contorno-----	42
4.4. Delineamento do ensaio-----	43
4.5. Cultura-----	46
4.6. Preparação do terreno para a sementeira-----	47

4.7. Abertura dos sulcos-----	47
4.8. Sementeira-----	48
4.9. Adubações-----	49
4.10. Rega -----	50
4.10.1. Alimentação do Cabo-rega-----	51
4.10.2. Medições efectuadas para avaliação da rega -----	51
4.11. Permeâmetro de Guelf -----	53
4.11.1. Modo de funcionamento-----	53
4.11.2. Constituintes-----	56
4.11.3. Realização da leitura-----	57
4.11.4. Cálculos -----	59
4.11.5. Resultados negativos-----	60
4.12. Método volumétrico-----	61
4.13. Sonda capacitiva-----	62
4.13.1. Calibração da sonda capacitiva-----	63
4.13.2. Colocação de tubos de acesso da sonda capacitiva-----	66
4.14. Estudo do aprofundamento radical -----	69
4.14.1. Técnica do mini-rizotrão-----	69
4.14.1.1. Instalação dos mini-rizotrões -----	69
4.14.2. Técnica do mapeamento da distribuição radical-----	71
4.14.2.1. Descrição do método-----	72
4.15. Avaliação da resistência à penetração-----	74
4.16. Produção -----	75

4.17. Forma de apresentação e tratamento dos resultados -----	76
5. Apresentação e discussão dos resultados-----	78
5.1. Densidade aparente -----	79
5.2. Curvas características de humidade-tensão-----	83
5.3. Condutividade hidráulica saturada -----	85
5.4. Perfis de humidade e sua evolução-----	90
5.5. Comportamento da cultura-----	95
5.5.1. Parte aérea-----	95
5.5.1.1. Produção de grão-----	95
5.5.1.2. Produção de biomassa-----	99
5.5.2. Sistema radical-----	103
5.5.2.1. Método do mini-rizotróo-----	103
5.5.2.2. Mapeamento da distribuição radical em planos verticais -----	105
5.5.2.3. Intensidade radical observada em planos horizontais -----	114
5.6. Resistência à penetração-----	117
5.7. Avaliação da rega-----	120
6. Conclusões e recomendações-----	128
Bibliografia-----	133
Agradecimentos-----	137
Anexos-----	138

LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS

Símbolo	Grandeza representada	Dimensões
a	Expoente do tempo nas equações da infiltração	
$A_{1(2)}$	Área média da secção transversal do escoamento	L^2
ANOVA	Análise de Variância	
B_i	Horizonte argílico	
C.U.	Coefficiente de uniformidade de Christiansen	
\bar{D}	Dotação média	L
\bar{D}_{qi}	Dotação média no quartil inferior	L
D_r	Densidade real	
D_u	Dotação útil	L
D_{ap}	Densidade aparente	
e_i	Eficiência de infiltração	
e_a	Eficiência de aplicação	
f	Factor de correcção de Kiefer	
f_0	Taxa de infiltração estabilizada	L^2T^{-1}
g	Aceleração da gravidade	LT^{-1}
$\text{grad } \varphi$	Gradiente de potencial	
k	Permeabilidade intrínseca do meio	
k	Constante empírica da equação de infiltração	
K	Condutividade hidráulica suturada	LT^{-1}
L	Comprimento do sulco	L
L_{solo}	Leitura efectuada com a sonda capacitiva no solo	
L_{ar}	Leitura efectuada com a sonda capacitiva no ar	
$L_{\text{água}}$	Leitura efectuada com a sonda capacitiva na água	
MDS	Mínima diferença significativa	
n	Número de amostras	
p	Coefficiente na equação potência do avanço	
P	Porosidade	

Símbolo	Grandeza representada	Dimensões
PG	Permeâmetro de Guelf	
Psa	Peso seco da amostra	LMT^{-2}
Q_0	Caudal de entrada	L^3T^{-1}
Q_x	Caudal estabilizado medido no final da fase de avanço	L^3T^{-1}
r	Parâmetro empírico da equação do avanço	
r	Coefficiente de correlação	
r^2	Coefficiente de determinação	
$R_{1(2)}$	Taxa de consumo de água	LT^{-1}
t	Tempo de infiltração	T
t_L	Tempo que a frente de avanço demora a chegar ao fim do sulco	T
$t_{0,5L}$	Tempo que a frente de avanço demora a chegar ao meio do sulco	T
t_x	Tempo que a frente de avanço demora a chegar ao ponto x	T
T	Tempo de rega	T
T_L	Tempo de avanço até ao fim do sulco	T
T_i	Tempo útil de infiltração	T
T_{rL}	Tempo de recessão até ao fim do sulco	T
UD	Uniformidade de distribuição	
UF	Frequência universal	
\bar{v}	Velocidade aparente	LT^{-1}
Va	Volume da amostra	L^3
Va	Volume aplicado	L^3
V_i	Volume infiltrado	L^3
V_f	Volume final	L^3
V_p	Volume percolado	L^3
x	Distância percorrida pela frente de avanço	L
Z	Profundidade da Infiltração acumulada	L
θ	Teor de humidade	
μ	Viscosidade dinâmica	
ρ	Massa específica do fluido	$L^{-3}M$
Ψ	Força de sucção	L

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Valores médios da densidade aparente obtidos para cada perfil, em cada modalidade, nas camadas consideradas -----	79
Quadro 2: ANOVA para os valores da densidade aparente obtidos, em perfis abertos no solo em cada modalidade, em Junho de 97-----	81
Quadro 3: ANOVA para os valores da densidade aparente obtidos, em perfis abertos no solo em cada modalidade, em Outubro de 97-----	81
Quadro 4: Condutividade hidráulica saturada, expressa em 10^{-5} cm/s obtida pela técnica do Permeômetro de Guelf a 15 cm de profundidade-----	85
Quadro 5: ANOVA para os valores da condutividade hidráulica saturada obtidos a 15 cm de profundidade-----	86
Quadro 6: Condutividade hidráulica saturada, expressa em 10^{-5} cm/s obtida pela técnica do Permeômetro de Guelf a 45 cm de profundidade-----	87
Quadro 7 : ANOVA para os valores da condutividade hidráulica saturada obtidos a 45 cm de profundidade.-----	87
Quadro 8 : Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades-----	88
Quadro 9 : Produtividade de grão seco (kg/ha) obtida por amostragem em três linhas de cada modalidade e em três locais de cada linha.-----	95
Quadro 10 : ANOVA para os valores da produção de grão seco obtidos, para cada modalidade, em três locais diferentes nas linha de cultura.-----	96
Quadro 11: Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades-----	97
Quadro 12: Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para os locais de amostragem-----	97
Quadro 13: Produção de biomassa da parte aérea (kg/ha) obtida por amostragem em três linhas de cada modalidade e em três locais de cada linha.-----	99

Quadro 14: ANOVA para os valores da produção de biomassa seca da parte aérea obtidos, para cada modalidade, em três locais diferentes nas linhas de cultura.-----	100
Quadro 15: Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades.-----	100
Quadro 16: Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para os locais de amostragem-----	101
Quadro 17: ANOVA para os valores do número de raízes com diâmetro inferior 1 mm obtidos para cada modalidade e para as cinco camadas consideradas.-----	107
Quadro 18: Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as camadas.-----	108
Quadro 19: ANOVA para os valores da intensidade radical (raízes com diâmetro inferior a 1 mm) obtidas para cada modalidade e para os planos horizontais considerados.-----	115
Quadro 20: Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para os planos-----	116
Quadro 21: Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades.-----	116
Quadro 22: Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação da rega obtidos para a 3ª rega controlada em 23/07/97-----	121
Quadro 23: Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação da rega obtidos para a 4ª rega controlada em 29/07/97-----	121
Quadro 24: Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação da rega obtidos para a 5ª rega controlada em 06/08/97-----	122
Quadro 25: Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação da rega obtidos para a 7ª rega controlada em 19/08/97-----	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Aspecto geral da caixa e mecanismos de funcionamento do Cabo-rega-----	20
Fig. 2: Aspecto da redução de caudais ao longo do tubo de cabeceira-----	21
Fig. 3: Subsolador vibrador de dois ferros separados de 1,5 m -----	44
Fig. 4: Realização da operação de subsolagem profunda com o subsolador vibrador-----	45
Fig. 5: Realização da subsolagem ligeira -----	46
Fig. 6: Abertura dos sulcos com o derregador -----	48
Fig. 7: Sementeira do milho-----	49
Fig. 8: Esquema de funcionamento da garrafa de Mariotte-----	54
Fig. 9: Constituintes e modo de funcionamento do Parâmetro de Guelf-----	55
Fig. 10: Curva de calibração da Sonda Capacitiva, efectuada em 25 pontos do solo Pmg-----	64
Fig. 11: Curva de calibração da Sonda Capacitiva, efectuada em 25 pontos do solo Pmg-----	65
Fig. 12: Esquema de montagem dos equipamentos necessários à instalação dos tubos de acesso da sonda capacitiva-----	66
Fig. 13: Aspecto dos mini-rizotrões envolvidos com plástico escuro-----	70
Fig. 14: Esquema ilustrativo dos planos horizontais amostrados-----	73
Fig. 15: Curvas de humidade-tensão para o horizonte B.-----	83
Fig. 16: Perfis de humidade obtidos 24 horas antes e 24 horas depois da primeira rega controlada nas três modalidades-----	90
Fig. 17: Aspecto do campo de ensaios antes da primeira rega-----	91
Fig. 18: Perfis de humidade obtidos na modalidade Testemunha 24 horas antes e 48 horas após a terceira rega controlada -----	92

Fig. 19: Perfis de humidade obtidos na modalidade Subsolação Ligeira 24 horas antes e 48 horas após a terceira rega controlada-----	93
Fig. 20: Perfis de humidade obtidos na modalidade Subsolação Profunda 24 horas antes e 48 horas após a terceira rega controlada-----	93
Fig. 21: Evolução do aprofundamento radical nas três modalidades.-----	103
Fig. 22: Intensidade radical (raízes com $\varnothing < 1$ mm) ao longo do perfil, nas três modalidades-----	105
Fig. 23: Intensidade radical (raízes com $1 \text{ mm} < \varnothing < 2$ mm) ao longo do perfil, nas três modalidades-----	109
Fig. 24: Intensidade radical (raízes com $2 \text{ mm} < \varnothing < 3$ mm) ao longo do perfil, nas três modalidades-----	109
Fig. 25: Intensidade radical (raízes com $\varnothing > 3$ mm) ao longo do perfil, nas três modalidades -----	110
Fig. 26: Imagem digitalizada do painel transparente obtido para a modalidade Testemunha-----	111
Fig. 27: Imagem digitalizada do painel transparente obtido para a modalidade Subsolação Ligeira-----	112
Fig. 28: Imagem digitalizada do painel transparente obtido para a modalidade Subsolação Profunda-----	113
Fig. 29: Intensidade radical (raízes com $\varnothing < 1$ mm) por modalidade e por plano horizontal-----	114
Fig. 30: Resistência à penetração em profundidade na modalidade Testemunha-----	117
Fig. 31: Resistência à penetração em profundidade na modalidade Subsolação Ligeira-----	117

Fig. 32: Resistência à penetração em profundidade na modalidade Subsolação Profunda-----	118
Fig. 33: Curva de distribuição da água infiltrada na 3ª rega controlada realizada em 23/07/97-----	125
Fig. 34: Curva de distribuição da água infiltrada na 4ª rega controlada realizada em 29/07/97-----	125
Fig. 35: Curva de distribuição da água infiltrada na 5ª rega controlada realizada em 06/08/97-----	126
Fig. 36: Curva de distribuição da água infiltrada na 7ª rega controlada realizada em 19/08/97-----	126

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Esquema do campo de ensaios do Divor.

Anexo 2: Valores de humidade (% de volume) obtidos para cada modalidade no Horizonte B, quando as amostras de solo foram sujeitas a forças de sucção correspondentes aos valores de pF indicados.

Anexo 3: Aprofundamento radical observado nos mini-rizotrófos.

Anexo 4: Valores da intensidade radical observada nos perfis verticais e nos planos horizontais para cada classe de diâmetro.

Anexo 5: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teores de humidade calculados antes e depois das regas.

Anexo 6: Dados de entrada no programa ANREGA

Anexo 7: Curvas da infiltração obtidas para cada sulco/rega controlado em cada modalidade

RESUMO

O solo Mediterrâneo caracteriza-se por possuir, entre cerca de 35 e de 75 cm de profundidade, um horizonte B compacto, resultante da argila aí acumulada, vinda das camadas superiores do perfil. Esta característica limita a infiltração e condiciona o processo de rega, ao mesmo tempo que reduz a permeabilidade ao ar e à água e a capacidade de penetração das raízes e, daí, a capacidade utilizável do solo. A baixa permeabilidade do horizonte B resulta facilmente em excesso de água nos horizontes superficiais, aumentando a instabilidade estrutural e a susceptibilidade do solo à erosão.

A subsolagem pode produzir uma alteração significativa nas condições físicas do solo, pela criação de fracturas na camada compactada, proporcionando condições que permitam melhorar a circulação do ar e da água no perfil do solo e facilitar o aprofundamento radical das plantas, resultando isto num aumento da fertilidade potencial do solo. Pode ser bastante importante introduzir esta operação no esquema de mobilizações praticado em solos Mediterrâneos do Alentejo, onde 40% dos solos são desta natureza. A importância será ainda maior nas zonas de regadio, onde a subsolagem pode contribuir substancialmente para um sistema de uso do solo sustentável, quer do ponto de vista económico, quer do ambiental.

Fez-se um ensaio de subsolagem num campo organizado em terraços de contorno, forma organizativa adequada às condições de terreno ondulado, que são as habituais nos solos mediterrâneos do Alentejo. Estabeleceram-se duas modalidades de subsolagem: uma profunda, SP, feita com subsolador-vibrador actuando a 75 cm de profundidade e passando a intervalos de 1,5 m; outra ligeira, SL, feita com o “ripper” de um tractor de rasto contínuo, actuando a 40 cm de profundidade e passando a intervalos de 0,75 m.

Cada uma das modalidades foi praticada em um dos terraços, com cerca de 260 m de comprimento e 30 m de largura mínima. As modalidades foram comparadas entre si e com uma modalidade testemunha, estabelecida em outro dos terraços, onde se praticou o sistema tradicional de mobilização do solo. Instalou-se uma variedade para grão da cultura de milho e fez-se a rega por sulcos, utilizando-se um sistema de cabo-rega automatizado, processo bem adequado ao terreno organizado em terraços de contorno.

Os parâmetros pedológicos avaliados foram: densidade aparente, condutividade hidráulica, resistência à penetração, desenvolvimento das raízes (técnicas do mini-rizotrófia e do mapeamento radical) e evolução do perfil de humidade com as regas. Avaliaram-se algumas regas, tendo-se determinado para cada uma a equação de infiltração pertinente e as qualidades (eficiência e uniformidade). No fim do ciclo cultural, determinou-se a produção, em termos de grão e da parte aérea da biomassa.

Os resultados evidenciam uma acção muito significativa da subsolagem profunda sobre as propriedades físicas do solo, que se reflectem em diferenças, também muito significativas, da infiltração, das qualidades da rega e da produção, relativamente quer à modalidade testemunha, quer à de subsolagem ligeira. As diferenças entre esta e a testemunha foram menos significativas, sugerindo menor interesse desta modalidade de subsolagem, apesar do seu menor custo de execução, relativamente à de subsolagem profunda.

Palavras chave: terraços de contorno, camada compactada, erosão, rega por sulcos, infiltração, subsolagem.

ABSTRACT

The Mediterranean soil is a Luvisol soil with a compact B horizon located at a depth of about 35 to 75 cm, made up by the accumulation of clay that migrated from the upper layers. This compact layer limits the movement of water, air, and roots into deeper layers of the soil profile. Therefore, the water holding capacity is reduced, and a weak structure and high erodibility occur along with poor drainage in the surface layers, conditioning the irrigation process. Subsoiling is expected to change significantly such harsh physical conditions. Especially under irrigation, subsoiled soils can be made more productive and less susceptible to erosion than those under normal tillage, thus better supporting a sustainable irrigated agriculture.

An experiment was carried out on a contour terraced field, with two subsoiling treatments: deep subsoiling, SP, and light subsoiling, SL. For the SP treatment, a vibrating subsoil plough worked at a depth of 0.75 m with 1.5 m within plough passages; for the SL treatment a tractor ripper was used as a subsoil plough, working at a depth of 0.4 m and a 0.75 m width between plough passages. Each treatment was applied to a contour terrace of about 260 m in length and 30 m in width. The two treatments were compared to each other and also to a standard conventional tillage, carried out on another terrace. A grain maize crop was sown and furrow irrigated by a cable-irrigation system.

For comparison between treatments, bulk density, hydraulic conductivity, resistance to penetration, root growth, and soil water content patterns were obtained. Three irrigation events were evaluated, and the infiltration equation pertinent to each irrigation event was determined, as well as the parameters of efficiency and uniformity. At the end of the crop cycle, aerial biomass and grain yields were also evaluated.

Compared to both the standard and the SL treatments, the results of deep subsoiling treatment (SP) show a very significant effect on improving the soil physical properties and root growth, as well as on infiltration and the irrigation evaluation parameters. The SL and the standard treatment differences were sometimes not significant, which suggests that light subsoiling is not an interesting technique, despite its low cost and ease of doing.

Key words: contour terrace, compact layer, erosion, furrow irrigation, infiltration, subsoiling.

Capítulo 1

Introdução e Objectivos

1.1. INTRODUÇÃO

A formação dos solos mediterrâneos resulta de um processo pedogenético que se denomina argiluviação. Como resultado deste processo, forma-se um horizonte B muito compacto devido à deposição de argila vinda das camadas superiores do perfil.

Pelo facto de possuir uma compacidade elevada, o horizonte B condiciona o processo de infiltração, constituindo um imperme estrutural presente no perfil do solo. A redução da condutividade hidráulica deste horizonte, em relação à do horizonte A, conduz à formação de toalhas freáticas suspensas, temporárias, com incidência negativa na erosão do solo, na estrutura, no arejamento, na fertilidade do solo e na operabilidade e traficabilidade de máquinas agrícolas.

Por outro lado, a dificuldade de penetração das raízes na camada compactada faz com que o sistema radical das plantas se desenvolva sobretudo na camada superficial, não havendo desta forma uma exploração adequada da fertilidade potencial do solo. Para satisfazer as necessidades hídricas e nutritivas das culturas torna-se necessário recorrer a um aumento da frequência de rega e a níveis de adubação superiores, aumentando-se assim os custos da produção.

Os problemas referidos revestem-se de grande importância se se atender a que cerca de 40% (800000 ha) dos solos do Alentejo e 26% (1200000 ha) dos solos do país são Solos Mediterrâneos.

Com a construção da barragem e das obras de rega do Alqueva, a área regada no Alentejo aumentará consideravelmente, aumentando também a área de Solos Mediterrâneos a ser regada.

Assim, tendo em atenção os problemas referidos, torna-se importante dedicar uma atenção especial a este tipo de solos quando submetidos ao regadio, por forma a que, no futuro, se possa retirar deles o maior partido possível, decorrente do benefício que constituirá certamente a possibilidade de poderem vir a ser regados.

1.2. OBJECTIVOS

São objectivos deste estudo conhecer o efeito da subsolagem sobre a correcção estrutural do perfil do solo; aumentar a sua espessura efectiva, traduzida pela facilidade de aprofundamento radical e de armazenamento para a água; melhorar a condutividade hidráulica e a circulação da água e do ar no perfil do solo como consequência da melhoria das condições de drenagem interna.

Espera-se, assim, obter informação e conhecimento sobre o comportamento do solo resultante do aumento da macroporosidade no horizonte B.

Além destes, são ainda objectivos deste estudo:

- Determinar qual o efeito sobre as qualidades da rega, quando efectuada por sulcos, num solo argiluiado, produzido pela introdução das operações de subsolagem num esquema de mobilizações do solo.
- Determinar se há aumentos na produção da cultura que possam justificar, perante os agricultores, a introdução de uma operação de subsolagem num esquema de mobilizações do solo.
- Perceber se uma subsolagem efectuada a menor profundidade, mobilizando apenas alguns centímetros do horizonte B, é suficiente para produzir a alteração das características hidropedológicas do solo desejadas ou se é necessário recorrer a uma mobilização mais profunda.

- Deixar as bases para que, com mais dois anos de observações, se possa concluir da sustentabilidade desta técnica para o regadio, dos pontos de vista quer técnico-científico, quer económico.

- Inserção da subsolagem/drenagem na técnica mais ampla de mobilização do solo que é a mobilização mínima (sementeira directa).

Capítulo 2

O solo, a subsolagem e a rega

2.1. O SOLO E A SUA FORMAÇÃO

O processo de formação de um solo é uma complexa sequência de acontecimentos que incluem as mais complicadas reacções e comparativamente os mais simples rearranjos de matéria que afectam intimamente os solos em que ocorrem (Buol *et al.*, 1980).

Os factores de formação do solo (clima, organismos, rocha-mãe, relevo e tempo) associados a várias acções conjugadas (adição, remoção, transformação e translocação) conduzem a uma série de vias de transformação (processos pedogenéticos) que levam à formação dos solos.

Os processos pedogenéticos que conduzem à formação dos solos e à sua diferenciação em horizontes, são de natureza diversa, pois são a consequência de uma série de condições que acabam por conduzir a solos de diferentes naturezas.

Muitos dos solos do sul do país, designadamente aquele em que decorreu o ensaio, resultaram da Argiluviação. Este processo pedogenético confere aos solos características muito particulares, quer em termos pedogenéticos, quer em termos agrónomicos, que fazem com que estes devam ser olhados de uma forma também ela muito particular

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DA ARGILUVIAÇÃO COMO PROCESSO

PEDOGENÉTICO

Buol *et al.* (1980), descrevem o processo da argiluviação ou lavagem, como uma migração mecânica de pequenas partículas do horizonte A para o horizonte B do perfil de um solo, produzindo neste um enriquecimento relativo de argila, isto é, um horizonte argílico (Bt).

Para Pinto Ricardo (1970), a argiluviação é um processo pedogenético que conduz à formação de solos com um perfil do tipo ABC completamente desprovido de sais solúveis, gesso e calcário e também mais ou menos insaturado em bases e em que há uma acumulação de argila e de ferro no horizonte B proveniente dos níveis superiores do perfil. Este processo envolve dois fenómenos fundamentais para a formação dos solos: a eluviação e a iluviação.

Robinson (1932) distinguiu duas formas diferentes de eluviação:

- Mecânica - em que alguns constituintes da fracção mineral são translocados sem que sobre eles tenha ocorrido qualquer tipo de transformação química.
- Química - Em que há uma acção de natureza química sobre certos produtos que posteriormente são translocados e depositados noutra horizonte.

A eluviação envolve a mobilização e a translocação de materiais de um horizonte. A iluviação envolve o mesmo processo de translocação e a sua interrupção por imobilização dos materiais noutra horizonte do perfil do solo (Buol *et al.*, 1980).

Os fenómenos referidos fazem com que a argiluviação seja um processo pedogenético característico dos climas húmidos, sobretudo no domínio atlântico. Este caracteriza-se por temperaturas amenas e quedas pluviométricas uniformes ao longo de todo o ano, coincidindo o máximo de precipitação com a estação fria.

Assim, prevalecem no solo movimentos descendentes de água, o que favorece o fenómeno da eluviação. Esta determina o desenvolvimento de um horizonte eluvial caracterizado por ter perdido determinados constituintes (minerais de argila, ferro, bases e sais). Alguns destes constituintes (minerais de argila e ferro) acabam por acumular-se em níveis

inferiores do perfil, originando um horizonte iluvial, enquanto outros (sais) são arrastados para fora do perfil do solo (lexiviação).

O horizonte eluvial assim formado é um horizonte álbico que apresenta uma cor relativamente clara resultante da remoção das referidas partículas. Entretanto o horizonte B é um horizonte argílico de cor mais escura resultante da acumulação de argila (Botelho da Costa, 1966).

Quando se analisa o perfil de um solo argiluviado, é fácil constatar a existência de películas de argila (embora a abundância diminua com a profundidade) envolvendo os agregados de estrutura prismática ou ao longo dos poros no horizonte B. É o chamado plasma ceroso ou “clay skin”.

A argiluviação é um processo pedogenético que se encontra associado a floresta produtora de matéria orgânica do tipo mull ácido ou moder, com uma reacção fortemente ácida e caracteriza-se por uma transformação em que a mineralização se sobrepõe largamente à humificação (Pinto Ricardo, 1970). Tal situação conduz a um tipo de solos extremamente pobres em matéria orgânica.

O fenómeno da eluviação pode afectar os constituintes solúveis, as bases de troca e os constituintes no estado coloidal. As substâncias solúveis e as bases de troca são facilmente eliminadas do perfil, o que já não acontece com os constituintes coloidais. São por isso estes que acabam por desenvolver os horizontes iluviais.

Os colóides só migram facilmente quando se encontram no estado disperso. Estes não migram isoladamente mas sim sob a forma de complexos. A sua translocação exige condições climáticas e de perfil determinantes de uma grande percolação.

Em meio ácido e mal arejado, a dispersão dos minerais de argila é favorecida por produtos solúveis resultantes da intensa mineralização de compostos orgânicos, que também complexam o ferro, ficando separados e em condições de migrarem independentemente.

Em condições de alcalinidade elevada, devido a uma proporção anormal de sódio de troca, a argila também tem tendência a dispersar, ficando assim mais susceptível de ser eluviada.

Assim, o ambiente físico-químico condicionador do estado disperso ou floculado é um agente fundamental da eluviação, a par da água gravitacional no que se refere aos factores (queda pluviométrica, evapotranspiração, permeabilidade do material, vegetação e topografia) que comandam o volume e a velocidade de filtração da água ao longo do perfil do solo em formação.

Os níveis de iluviação desenvolvem-se em correspondência com a profundidade atingida pela água gravitacional. A sua posição depende portanto da quantidade de chuva efectiva.

A floculação dos constituintes no estado coloidal e a sua consequente iluviação é sobretudo provocada pela presença de uma proporção conveniente de bases (cálcio e magnésio) ou por determinadas condições de pH. Portanto, as causas químicas que provocam a alteração e a consequente eluviação dos complexos, também conduzem à acumulação dos respectivos constituintes.

Durante a fase inicial da sua formação, o horizonte iluvial desenvolve-se em profundidade. À medida que o horizonte vai adquirindo determinadas características, a sua permeabilidade vai diminuindo, o movimento da água gravitacional torna-se mais difícil e a acumulação passa a dar-se sobretudo na parte superior. Assim, o horizonte iluvial continua a desenvolver-se no sentido oposto ao inicial, aproximando-se mais da superfície do solo.

Uma particularidade importante, resultante da formação do horizonte argílico, está relacionada com o desenvolvimento do processo de infiltração. A sua presença conduz á formação de toalhas freáticas suspensas acima do horizonte B, devido ao facto de a infiltrabilidade ser neste mais baixa.

Na região sul de Portugal, onde abundam os solos argiluvitados, as culturas de Inverno são muitas vezes prejudicadas pelo aparecimento da referida toalha freática. O desenvolvimento do sistema radical das plantas é afectado, tal como a absorção de nutrientes e, nas situações mais graves, pode verificar-se a morte das plantas por asfixia radical.

Uma das formas que poderá resolver ou pelo menos atenuar o efeito de alguns dos condicionalismos referidos para este tipo de solos é o recurso a mobilizações profundas e nomeadamente à subsolagem, pois desta forma poderá reduzir-se a forte compactação do horizonte B.

A argiluviação é um processo pedogenético que contribuiu para a formação de solos nas mais diversas regiões do globo. As várias classificações de solos existentes utilizam termos diferentes quando se referem a solos com características semelhantes. Assim, os solos argiluvitados pertencem aos “Solos Mediterrâneos” da classificação Portuguesa (Carvalho Cardoso, 1965), o termo “Luvisol” designa este tipo de solos na classificação da FAO, segundo Duchaufour (1976) trata-se de “Sols Lessivés” e as mesmas características são atribuídas aos “Alfisol” na classificação Americana (Wilding *et al*, 1983).

2.2. A SUBSOLAGEM, SUA ACCÃO SOBRE AS CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO

2.2.1. HORIZONTES COMPACTADOS

A existência de camadas compactadas num solo constitui um importante problema do ponto de vista agronómico, uma vez que estas vão limitar o armazenamento de água, afectar a circulação do ar e da água e o desenvolvimento do sistema radical das plantas, o que se poderá reflectir no desenvolvimento e produção das culturas.

Segundo Donahue *et al.* (1971) existem vários tipos de camadas compactadas, que podem dever-se a causas naturais ou antrópicas.

As causas naturais podem ser de diferentes naturezas:

- a) Existência de um horizonte argílico: Neste caso a compactação resulta da acumulação, no horizonte B, da argila proveniente das camadas superiores do perfil do solo.
- b) Camada aluvionar. Esta é o resultado da deposição de lama (material fino) junto do horizonte B.
- c) Horizonte endurecido resultante da cimentação de ferro, alumínio, sílica, carbonato ou sulfato de cálcio.
- d) Horizonte dispersado, formado pela acção dispersante do sódio em solos de textura fina.
- e) Horizonte compactado, devido à aplicação de forças durante a deposição geológica.

Quanto às causas antrópicas são referidas as seguintes:

- a) Camada de mobilização ou “calo de lavoura”. Esta camada desenvolve-se como resultado do tráfico de maquinaria pesada em solos húmidos e de textura fina ou ainda pela compressão das alfaias trabalhando durante vários anos à mesma profundidade.
- b) Crostas superficiais causadas pela quedas de gotas de chuva em solo nu.
- c) Camada resultante do pisoteio de animais em pastoreio, especialmente em solos de textura fina.

2.2.2. ACTUAÇÃO SOBRE O HORIZONTE COMPACTADO

As operações que visam actuar directamente sobre as camadas compactadas existentes no perfil de um solo podem ser efectuadas com o recurso a diferentes alfaias consoante elas se encontram mais à superfície ou a maior profundidade. Assim, podem usar-se o chisel, o “ripper” ou o subsolador. O chisel permite uma profundidade de trabalho máxima de 30 cm; o subsolador utiliza-se para mobilizações até 75 cm de profundidade; o “ripper” “trabalha” a uma profundidade intermédia (Carter-Brown, 1975)

Wild (1988) aponta a subsolagem com a forma mais adequada para desagregar o solo, partir o calo de lavoura ou outras camadas compactadas qualquer que seja a sua natureza. Especifica ainda que, nos solos Mediterrâneos Pardos, a operação de subsolagem é provavelmente a melhor forma de actuação para tornar o horizonte B mais permeável e penetrável pelas raízes.

Hendrick (1979) citado por Arkin e Taylor (1981) refere que o efeito das operações de subsolagem pode ser substancialmente aumentado se a alfaia utilizada possuir a capacidade de fazer vibrar o solo. Os mesmos autores citam um trabalho de Dubrovskii

(1968) que, além de ter chegado ao mesmo tipo de conclusões, acrescenta ainda que há uma economia de energia na ordem dos 40% se os solos forem mobilizados com recurso aos subsoladores vibradores, em vez dos subsoladores convencionais.

2.2.3. SUBSOLADORES

Os subsoladores são alfaias que basicamente são constituídas por um ferro vertical (a “perna”) e um que lhe é perpendicular na sua extremidade (o “pé”). São utilizados quando há necessidade de actuar sobre camadas compactadas que se possam encontrar num solo, qualquer que seja a sua natureza. “Trabalham” acoplados a um tractor, normalmente de grande potência, e ao actuarem sobre o solo criam zonas de fractura por onde podem penetrar o ar, a água e as raízes das plantas. Desta forma é aumentada a fertilidade potencial dos solos, pois o volume explorado pelo sistema radical das culturas aumenta, melhoram as condições de drenagem interna dos solos e o processo de infiltração. Alguns autores referem ainda que em culturas de regadio são aumentadas as eficiências de rega.

Spoor e Godwin (1978) mostraram que há uma profundidade crítica para cada subsolador, abaixo da qual os efeitos da mobilização são consideravelmente reduzidos.

Os mesmos autores referem que algumas alterações no pé do subsolador, como por exemplo a adição de pequenas asas, aumenta a profundidade crítica, podendo obter-se um maior volume de solo mobilizado com um número de passagens inferior. Poderá no entanto ser necessário um acréscimo da potência requerida para a tracção.

2.2.4. ESTUDOS DE SUBSOLAGEM

As actividades de pesquisa realizadas sobre os efeitos de operações de subsolagem na alteração das características hidropedológicas dos solos e no desenvolvimento e produção das culturas têm sido pouco frequentes, daí que não se encontre uma bibliografia suficientemente vasta onde este assunto seja tratado.

A análise das conclusões de alguns trabalhos de investigação realizados nesta área permite detectar algumas contradições. Tal situação poderá ser o resultado de os parâmetros medidos serem relativamente difíceis de estudar e de os ensaios serem feitos em talhões de grandes dimensões por isso susceptíveis a uma maior variabilidade espacial.

Segundo Porro e Cassel (1986) a introdução da subsolagem no esquema de mobilizações do solo conduz a uma redução da quantidade de água aplicada às culturas, uma vez que há uma melhoria considerável nas condições de circulação da água no perfil do solo. Por outro lado, permite que o sistema radical das culturas se desenvolva para além da camada compactada, aumentando desta forma o acesso à água e aos nutrientes (Kemprath *et al.*, 1979).

Segundo Vepraskas e Miner (1986), o maior crescimento das raízes em zonas subsoladas deve-se à existência de fendas que oferecem uma menor resistência ao crescimento das raízes.

Também Bless (1989) em trabalho realizado num solo argiluvado perto de Évora, concluiu que a subsolagem introduz uma melhoria em termos de infiltração e de

movimento da água no solo bem como uma maior disponibilidade espacial para o desenvolvimento das raízes.

Em estudo realizado no campo de ensaios do Divor, num solo Pmg, sujeito à rega por sulcos, Serralheiro e Oliveira (1994), embora preliminarmente, concluíram ser a subsolagem uma técnica promissora para aumentar o perfil efectivo de enraizamento e a capacidade utilizável dos solos mediterrâneos.

Aguiã (1994) em estudo realizado no mesmo campo, refere que a capacidade utilizável é maior em solo subsolado relativamente ao não subsolado, embora as diferenças não sejam marcantes. No que diz respeito aos perfis hídricos observados pela autora, as diferenças detectadas entre solo subsolado e não subsolado são pequenas e são sobretudo evidentes nas camadas superficiais. Em relação ao desenvolvimento do sistema radical de uma cultura de milho instalada no ensaio, concluiu que não se obtém melhorias significativas.

Santos (1995) também em estudo realizado no campo de ensaios do Divor, num solo Pmg, concluiu, embora com algumas reservas, que há uma melhoria das condições de distribuição da água no solo, não se verificando o mesmo em relação ao aumento da capacidade de armazenamento.

2.2.5. LIMITAÇÕES DA SUBSOLAGEM

Um ponto importante a ter em atenção quando se pretende utilizar um subsolador é o teor de humidade do solo, pois os efeitos da subsolagem estão estritamente dependentes dele. Por este facto torna-se muitas vezes difícil determinar quando a subsolagem terá uma eficiência máxima.

Segundo Wild (1988) a operação deve ser efectuada com o solo levemente humedecido, para que desta forma se produza o aparecimento do maior número possível de fendas, criadas pela acção do subsolador e que estas apresentem uma grande estabilidade ao longo do tempo.

Machado (1989), refere-se aos efeitos da subsolagem como sendo pouco duradouros, tornando-se necessária a sua repetição com pequenos intervalos de tempo. Adianta ainda que, pelo facto de ser uma operação que exige uma grande força de tracção, pode tornar-se economicamente inviável.

2.3 A REGA

2.3.1 NECESSIDADE DE AUTOMATIZAÇÃO DA REGA DE SUPERFÍCIE

Com o aumento da competitividade no sector agrícola é importante que os agricultores consigam reduzir os custos de produção, pois também o preço dos produtos tem vindo a decrescer sistematicamente, de ano para ano.

No entanto, o custos dos factores de produção como os adubos, os pesticidas, a energia, os salários e outros não têm diminuído (antes pelo contrário) e aí os agricultores não têm qualquer capacidade de intervenção. Assim, uma das poucas formas que os agricultores têm encontrado para baixar os custos da produção é a diminuição do custo da mão de obra através da sua redução e a racionalização e parcimónia ou limitação ao uso dos outros factores de produção.

Nas culturas de regadio, uma das formas mais eficazes encontradas para baixar o custo da produção é a redução do custo da rega pela adopção de sistemas alternativos aos tradicionalmente praticados. Tem-se verificado uma redução da área regada por métodos tradicionais e um aumento da área regada por aspersão, nomeadamente através do recurso ao “center-pivot”. Este é, no entanto, um sistema caro, na medida em que requer um grande investimento inicial e altos custos de manutenção e funcionamento, sobretudo em energia.

A rega por sulcos (longos) pode ser uma boa alternativa. Torna-se contudo necessário que esta seja encarada como técnica adequada para a redução dos custos da rega através da redução da mão-de-obra, o que só é possível pelo recurso à automatização.

Por outro lado, a automatização terá um efeito essencial, ou pelo menos muito relevante, na decisiva melhoria de outras qualidades da rega, em relação aos métodos tradicionais e até aos métodos de aspersão, center-pivot incluído, designadamente na economia de água (aumento da eficiência de aplicação e da uniformidade de distribuição), racionalização da aplicação de azoto, redução das necessidades de mobilização do solo, consequências ambientais (no que respeita à conservação do solo, água e energia) e económicas (redução dos custos).

2.3.2. O CABO-REGA

O Cabo-rega, desenvolvido originalmente no Snake River Conservation Research Center em Kimberly, Idaho, já se encontra difundido nos Estados Unidos e em França. Em Portugal ainda não tem expressão. No entanto, através do trabalho que tem vindo a ser desenvolvido pela Universidade de Évora e pelo Instituto Superior de Agronomia em conjunto com outros organismos, no Campo de Ensaios do Divor e no INIA, em Coruche, promovendo sistematicamente visitas de técnicos e agricultores, tem sido feita a sua divulgação e já começa a ser considerado por alguns como uma alternativa bastante válida.

O Cabo-rega é um sistema engenhoso de automatização da rega de superfície, que permite uma grande redução da mão-de-obra, requer um baixo custo de instalação e quase nenhuma energia, consegue boas uniformidades de aplicação devido a uma redução progressiva dos caudais e permite uma economia de água considerável.

2.3.2.1. DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema é constituído por um tubo rígido de PVC, janelado, com um diâmetro que permite o transporte de um determinado caudal em superfície livre. O tubo é colocado sobre um camalhão à cabeceira dos sulcos, com um declive preciso e as janelas abertas ao longo de uma linha que em conjunto com o eixo longitudinal do tubo definem um plano que faz um ângulo diedro de 30° com a vertical.

Na sua extremidade de montante, o tubo encontra-se ligado a uma caixa de entrada de água no sistema. É nesta caixa que se encontra montado o mecanismo controlador da velocidade de um êmbolo que, preso por um cabo, se desloca ao longo do tubo à medida que a rega decorre.



Fig.1 - Aspecto geral da caixa e mecanismos de funcionamento do Cabo-rega.

Assim, o êmbolo desloca-se no interior do tubo por acção da pressão dinâmica da água que, impedida pelo êmbolo de passar para jusante, é obrigada a sair pelas janelas para a parcela de rega.

Atrás do êmbolo forma-se uma onda de compressão e o respectivo regolfo. A água escoar com um caudal máximo no orifício situado mais perto do êmbolo. O caudal é cada vez menor à medida que a janela fica mais afastada do êmbolo. Isso é o resultado de haver uma diminuição da pressão de jusante para montante.

De uma forma simples consegue obter-se uma redução de caudais ao longo da rega, que acompanha a redução da infiltrabilidade que se produz enquanto esta decorre, o que permite aumentar a uniformidade da rega e reduzir as perdas no final das parcelas.



Fig. 2- Aspecto da redução de caudais ao longo do tubo de cabeceira.

À medida que o mecanismo regulador da velocidade vai desenrolando o cabo, vão sendo abertos novos orifícios. Estes começam a regar com o caudal máximo, ao passo que a rega cessa no último orifício de montante que se encontrava a regar, pois o regolfo já não o atinge.

2.3.2.2. CONTROLE DA REGA

O dimensionamento do Cabo-rega está dependente da conjugação de factores tais como o declive, o diâmetro interno do tubo de rega, o caudal fornecido ao sistema, a rugosidade do tubo, a dimensão das janelas, o espaçamento entre elas e o comprimento do tubo (Shahidian, 1996).

Depois de instalado no campo, a intervenção sobre as qualidades da rega só pode ser feita através da regulação da abertura dos orifícios ou da velocidade do êmbolo, partindo-se do princípio de que, durante a rega o caudal fornecido ao sistema é constante.

Assim, a abertura das janelas determina o caudal aplicado aos sulcos e conseqüentemente o número de sulcos que em cada momento estão a ser regados. Quanto menor for a abertura das janelas, menor é o caudal aplicado em cada sulco e maior é o número de sulcos a regar, aumentando também o tempo de rega, se a velocidade do êmbolo for constante.

A aplicação de um caudal maior aos sulcos conduz a um aumento da velocidade de avanço da água. No entanto, há uma redução do tempo de rega e conseqüentemente do tempo de infiltração. Desta forma, a abertura das janelas deve ser regulada em função das

condições de infiltração específicas de cada rega e do tipo de solo. O caudal deve ser superior em solos com uma elevada capacidade de infiltração.

Na primeira rega, quando ainda não se formou nenhuma crosta, a infiltrabilidade é maior, pelo que um avanço razoavelmente rápido, para uma uniformidade razoavelmente elevada, pressupõe um caudal maior do que o requerido nas regas seguintes. Contudo é exactamente nestas condições da primeira rega, com o solo sem crosta, mais solto, que o caudal deve ser reduzido, para que a rega não seja erosiva. Deve, por isso, sacrificar-se a eficiência e outras qualidades da primeira rega em favor de uma redução da erosão.

Por sua vez, a velocidade do êmbolo determina a distribuição temporal dos caudais, ou seja, o tempo durante o qual o sulco é regado. Um aumento da velocidade do êmbolo implica uma redução de caudais mais rápida, pelo que o volume de água aplicado a cada sulco é inversamente proporcional à velocidade do êmbolo, para um dado caudal geral.

Para uma determinada abertura das janelas, a alteração da velocidade do êmbolo modifica completamente as características dos tempos de avanço da água nos sulcos. Quanto maior for a velocidade do êmbolo maior será a duração da fase de avanço.

A intervenção sobre as qualidades da rega só é possível mediante a regulação da abertura das janelas ou da velocidade do êmbolo.

Em blocos onde o comprimento dos sulcos é diferente, a optimização das qualidades da rega só é possível se durante a rega houver alteração em algum destes parâmetros. Como o que se pretende do sistema é que ele permita uma boa automatização, tem-se tentado desenvolver equipamentos que permitam uma alteração da velocidade do êmbolo

enquanto decorre a rega, já que intervir sobre a abertura das janelas em tempo real seria certamente mais complicado.

Shahidian (1996) desenvolveu equipamento para automatização de um sistema Cabo-rega, num solo argiluiado, armado em terraços de contorno (donde resultam sulcos com diferentes comprimentos), “... que fosse prático, fiável, e que pudesse ser utilizado por agricultores...”.

Assim, foi desenvolvido um controlador electrónico constituído por um computador e o respectivo programa, um inversor de velocidade, um pequeno motor eléctrico e a respectiva engrenagem.

A rega é gerida pelo programa “Cabogest”, que recebe os tempos de avanço de um sulco de controlo, processa-os e calcula a velocidade do êmbolo do Cabo-rega.

O computador comunica com um inversor “Micromaster” que comanda um motor eléctrico alterando a frequência da corrente que lhe fornece. Este motor está acoplado a um redutor de velocidade que, uma vez ligado à bobine onde o cabo está enrolado, lhe confere um movimento que determina a velocidade de deslocação do êmbolo.

2.3.3. O MÉTODO “CABOGEST”

O método “Cabogest” aproveita o compasso de espera necessário para regar os primeiros sulcos do campo para determinar a equação de infiltração, pertinente a cada rega, utilizando o modelo do Balanço Volumétrico de Elliott e Walker. Dada a sua importância, quer para o método “Cabogest”, quer para a gestão da rega em geral, a sua descrição encontra-se no ponto 2.4.1. deste relatório.

Além de determinar a equação da infiltração, o programa traça a curva de infiltração acumulada correspondente, permitindo que esta seja visualizada no écran.

O “Cabogest” sugere a dotação que otimiza a eficiência da rega, embora permita que o operador introduza outros valores.

Determina o coeficiente de rugosidade de Manning por ajustamento, através da comparação entre os valores dos tempos de avanço observados no sulco controlo e aqueles que são calculados.

Possui uma rotina gestora da rega, que faz a modelação do avanço para cada um dos sulcos, utilizando uma malha espaço-tempo. Para isso, recorre a um processo iterativo em que, para cada incremento de tempo desde o início da rega no sulco, calcula os seguintes parâmetros:

- Velocidade de avanço;
- Infiltração acumulada;
- Armazenamento superficial;
- Caudal disponível para os armazenamentos seguintes.

A determinação do intervalo de tempo entre o início da rega em sulcos sucessivos é feita de forma a garantir a dotação pretendida. Assim, o tempo de duração da rega em cada sulco seria:

$$T = T_L + T_i - T_{rL} \quad (2.1.)$$

T - Tempo de rega.

T_L - Tempo de avanço até ao fim do sulco.



T_i - Tempo útil de infiltração.

T_{rL} - Tempo de recessão até ao fim do sulco.

Como o caudal se reduz progressivamente, a definição da fase de recessão e sua duração

T_{rL} perde interesse (e é pouco rigorosa), pelo que a equação (2.1.) se pode reduzir a:

$$T = T_L + T_i \quad (2.2.)$$

Depois de calcular a velocidade com que o êmbolo se irá deslocar ao longo da rega, essa informação é comunicada ao “Micromaster”. O êmbolo pode então começar a mover-se.

2.3.3.1. PARÂMETROS A INTRODUIZIR NO CABOGEST

Os parâmetros relativos ao campo e ao sistema Cabo-rega devem ser introduzidos no programa “Cabogest” antes da rega:

- Comprimentos dos sulcos (m);
- Pares de dados referentes ao perfil do sulco (y - altura e t - largura correspondente);
- Caudal que entra no sistema (l/s);
- Declive dos sulcos e do tubo do Cabo-rega (m/m);
- Distância entre sulcos (m);
- Rugosidade e diâmetro interno do tubo (mm);
- Diâmetro equivalente dos orifícios (mm).

Após ter terminado o avanço no sulco de controlo, são introduzidos os seguintes parâmetros:

- Tempos de avanço até aos pontos do meio e do final do sulco (minutos);
- Altura da água no início, meio e final do sulco (m);
- Dotação pretendida (mm) (opção).

Após a introdução destes parâmetros, o programa calcula a velocidade de êmbolo, este entra em movimento e a rega passa a ser feita automaticamente.

2.4. EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO

Para que se possam aumentar a eficiência de aplicação e a uniformidade, é necessário poder prever estas qualidades da rega. A determinação da equação da infiltração permite fazer essa previsão.

As equações que têm sido utilizadas com êxito para caracterizar a infiltração em sulcos são as de, Kostiakov-Lewis e Kostiakov, cujas fórmulas gerais se apresentam em seguida:

$$\text{Kostiakov-Lewis ou K. modificada} \quad Z = kt^a + f_0 t \quad (2.3)$$

$$\text{Kostiakov} \quad Z = k t^a \quad (2.4)$$

em que:

Z = Profundidade da infiltração acumulada.

t = Tempo de infiltração.

k e a = Constantes empíricas.

f_0 = Taxa de infiltração estabilizada ou infiltrabilidade final.

Segundo Serralheiro (1988) a equação de Kostiakov, determinada pelo método do balanço volumétrico, é a que melhor descreve o processo de infiltração em solos argiluviosos, desde que os tempos não sejam muito longos, a profundidade não varie muito ao longo do sulco e as constantes k e a sejam determinadas para caudais semelhantes àqueles para os quais se irá prever a infiltração.

2.4.1. DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA INFILTRAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DO BALANÇO VOLUMÉTRICO

A equação da infiltração pode ser determinada através de métodos experimentais e analíticos.

Experimentalmente a infiltração tem sido medida utilizando métodos como o duplo anel, o infiltrómetro de sulco com retorno, o infiltrómetro de sulco bloqueado e o sulco infiltrómetro.

Após terem realizado um grande número de determinações de infiltração utilizando infiltrómetros de duplo anel e de sulco, Elliott e Walker (1982) concluíram que nenhum destes métodos fornecia uma simulação satisfatória da infiltração em sulcos.

Estes autores verificaram que, medindo os tempos de avanço da água no sulco, a sua secção hidráulica e o volume de excedentes é possível determinar a infiltração em sulcos utilizando para tal o Método do Balanço Volumétrico.

O método de Elliott e Walker é utilizado para determinar os parâmetros da equação de infiltração a partir dos tempos de avanço. Utiliza uma equação do tipo Kostiakov-Lewis para caracterizar a infiltração. Com este método, determina-se primeiro a infiltrabilidade final f_0 , calcula-se depois o expoente a e por fim o coeficiente k .

A fase de avanço é caracterizada pela equação:

$$x = pt_x^r \quad (2.5.)$$

em que x é a distância percorrida pela frente de avanço no tempo t_x e p e r são parâmetros empíricos, calculados através da expressão:

$$r = \frac{\ln(t_{0,5L} / t_L)}{\ln 0,5} \quad (2.6.)$$

$$p = \frac{t_L}{L^r} \quad (2.7.)$$

em que, $t_{0,5L}$ e t_L representam respectivamente o tempo que a frente de avanço demora a chegar ao meio e ao fim do sulco e L é o comprimento do sulco.

A infiltrabilidade estabilizada ou final é calculada através da expressão:

$$f_0 = \frac{Q_0 - Q_x}{x} \quad (2.8.)$$

em que Q_0 é o caudal de entrada e Q_x é o caudal estabilizado medido no final da fase de avanço num dado ponto á distância x do início do sulco.

O expoente a é determinado através do “Método dos dois pontos”, no qual se faz o balanço volumétrico para dois pontos situados às distâncias do início do sulco respectivamente L_1 (geralmente escolhe-se o ponto a meio do sulco) e L_2 (geralmente no fim do sulco) a que correspondem tempos de avanço t_1 e t_2 respectivamente. O expoente a é calculado através da expressão:

$$a = \frac{\log \frac{M_2}{M_1}}{\log \frac{t_2}{t_1}} \quad (2.9.)$$

em que M_1 e M_2 relacionam os restantes factores que influenciam o escoamento:

$$M_1 = \frac{Q_0 t_1}{L_1} - A_1 - \frac{f_0 t_1}{r+1} \quad (2.10.)$$

$$M_2 = \frac{Q_0 t_2}{L_2} - A_2 - \frac{f_0 t_2}{r+1} \quad (2.11.)$$

A_1 e A_2 representam a área média da secção transversal do escoamento ao longo dos comprimentos L_1 e L_2 respectivamente. As duas áreas relacionam-se com a área da secção transversal no início do sulco através do factor σ_y (cerca de 0,77):

$$A_1 = A_2 = \sigma_y A_0 \quad (2.12.)$$

k é determinado através da expressão:

$$k = \frac{M_2}{f t_2^a} \quad (2.13.)$$

onde f é o “factor de correcção de Kiefer”:

$$f = \frac{a + r(1 - a) + 1}{a + 1} \quad (2.14.)$$

em que a é o expoente da equação da infiltração e r é o expoente da equação empírica do avanço.

Capítulo 3

Parâmetros estudados

3- PARÂMETROS MEDIDOS

A subsolagem visou introduzir uma melhoria nos parâmetros hidropedológicos do solo e melhorar a macroestrutura do horizonte B. Para concluir do efeito da referida operação, foram medidos os parâmetros que se descrevem nas secções seguintes, que constituíram os dados primários do estudo da subsolagem.

3.1. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

Em meios porosos, homogéneos, indeformáveis, isótropos, quando permeados por fluidos homogéneos, incompressíveis, simplesmente pesados, há uma relação entre a velocidade aparente \vec{v} e o gradiente de potencial, expressa pela seguinte equação vectorial, conhecida pela lei de Darcy:

$$\vec{v} = - K \text{ grad } \varphi \quad (3.1.)$$

em que K representa uma constante de proporcionalidade, dita condutividade hidráulica (Santos Júnior, 1987).

Analiticamente, o valor da condutividade hidráulica deduz-se a partir de:

$$K = k \rho g / \mu \quad (3.2.)$$

em que k representa a permeabilidade intrínseca do meio, variando com o teor de humidade e com as características geométricas da zona permeada (textura e estrutura); g é

a aceleração da gravidade, ρ a massa específica do fluido e μ a sua viscosidade dinâmica. A condutividade hidráulica depende pois, das características do fluido, do meio poroso e do teor de humidade (Santos Júnior, 1987).

Com o estudo efectuado pretendeu-se avaliar da alteração dos valores da condutividade hidráulica, como resultado da actuação sobre o meio poroso, produzida pelas operações de subsolagem.

3.2. DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente do solo representa a razão da massa da parte sólida de um dado volume aparente de solo (volume ocupado pelas partículas sólidas mais o volume ocupado pelos interstícios ou poros) e da massa de igual volume de água. É uma grandeza relativa e portanto adimensional.

Esta mede-se, em geral, recorrendo a sondas que permitem colher amostras do solo sem alteração apreciável da estrutura e da compacidade. Trata-se da densidade aparente de solo seco e determina-se dividindo o peso do solo seco a 105 °C pelo peso da massa de água que ocupa volume igual ao da amostra (Botelho da Costa, 1966).

Porém se o solo estiver húmido, o que se determina é a densidade aparente em solo húmido. Segundo Botelho da Costa (1966) a distinção entre densidade aparente em solo seco e densidade aparente em solo húmido pode ter interesse em questões de hidráulica e da mecânica dos solos, se for importante a proporção de argilas expansivas. No entanto, os erros que se cometem, utilizando apenas a densidade aparente em solo seco, são com frequência relativamente pequenos e em certos casos até menores que os que se cometem

por não serem devidamente consideradas as variações de volume aparente do solo com o seu teor em água, como acontece no caso dos solos de argilas muito expansivas.

3.3. POROSIDADE

A porosidade pode definir-se como a razão do volume ocupado pelas fases líquida e gasosa e do volume aparente de solo.

A porosidade mede o espaço disponível para o ar e água e pode calcular-se a partir da densidade real e da densidade aparente através da expressão:

$$P = \frac{Dr - Dap}{Dr} \times 100 \quad (3.3.)$$

sendo: P - Porosidade

Dr - Densidade real

Dap - Densidade aparente

A partir dos diferentes valores de pF é possível fazer a distribuição percentual dos poros por classes de porosidade.

Assim, segundo Russel (1977) devem considerar-se quatro classes de poros:

- Poros com diâmetro inferior a $0,2 \mu m$ - retêm a água a potenciais inferiores a -1500 kPa e que corresponde ao teor de água a pF 4,2.
- Poros com diâmetro entre $0,2$ e $30 \mu m$ - Que retém a água a potenciais entre -1500 e -50 kPa, correspondendo a pF 4,2 e 2,7.

- Poros com diâmetro entre 30 e 60 μm - Que retêm a água a potenciais entre -50 e -10 kPa, correspondendo a pF 2,7 e 2,0.

- Poros com diâmetro superior a 60 μm - que se encontram preenchidos com ar quando o solo está próximo ou à capacidade de campo correspondendo a potenciais superiores a -10 kPa, ou seja pF 2,0.

3.3.1. RELAÇÃO ENTRE POROSIDADE E DENSIDADE APARENTE

Tal como a densidade aparente, a porosidade varia em função da textura, da estrutura e do teor em matéria orgânica.

Em igualdade de texturas, a porosidade é geralmente menor nas camadas subsuperficiais ou subjacentes do solo. Certos horizontes B podem ter porosidade inferior a 30%.

A porosidade, tal como a densidade aparente, não apresenta valores constantes, podendo variar com o teor de humidade do solo devido a fenómenos de expansão e contracção dos seus materiais.

Além disso, em solos mobilizados, estas características são fortemente afectadas, na camada arável, pelas operações culturais. Variam com as técnicas que afectam sensivelmente a estrutura do solo.

Valores elevados da densidade aparente correspondem a baixos valores de porosidade e vice-versa. Esta serve de indicador da porosidade.

Se a porosidade é insuficiente e se as raízes não encontram canalículos com dimensões que permitam a sua passagem, acabam por se desenvolver de forma inadequada, com todas as consequências que esse facto terá para a própria planta. Admite-se que densidades aparentes iguais ou superiores a 1,75 em solos de textura grosseira e a 1,5 em solos de

textura fina correspondem a condições que impedem ou dificultam o crescimento das raízes (Botelho da Costa, 1966).

3.4. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO

A compactação usualmente reduz o volume dos poros maiores do solo e pode restringir o crescimento radical devido ao aumento da resistência mecânica e/ou a um deficiente arejamento, limitando a acessibilidade à água e aos nutrientes por parte da planta (Bengough, 1991).

Se a raiz não pode crescer penetrando nos poros existentes no solo por estes serem demasiado pequenos, tem de exercer uma pressão que seja suficiente para romper o solo e crescer. Isto acaba por resultar numa redução do tamanho das raízes e pode mesmo mudar a morfologia do sistema radical (Russel, 1977).

Há muitas dificuldades em estudar o efeito da resistência mecânica no crescimento das raízes devido à complexidade dos factores da heterogeneidade do solo e de possíveis efeitos da restrição do ar, da água ou de outros nutrientes.

Bengough (1991) refere que o melhor método indirecto de estimar a resistência do solo ao crescimento radical envolve a medição da resistência mecânica, com uma sonda de metal - Penetrómetro. O termo resistência é geralmente usado no sentido de ser uma força, no contexto das raízes e dos penetrómetros. Refere-se à força exercida pelo penetrómetro ou pelas raízes dividida pela sua área transversal.

3.5. PERFIL DE HUMIDADE E SUA EVOLUÇÃO

Um perfil de humidade representa a relação entre o teor de humidade e a profundidade de um solo e destina-se a calcular o armazenamento de água (Reichardt, 1978).

A água entra nos solos através do processo da infiltração. À medida que a água se infiltra num solo de perfil uniforme relativamente seco, podem observar-se três zonas mais ou menos distintas. Uma perto da superfície que se encontra saturada (zona de saturação); outra em que o teor de humidade é praticamente constante (zona da transmissão) e outra em que se faz a transição para uma zona em que é visível o limite de penetração da água infiltrada (zona de humedecimento).

Durante o processo da infiltração, a espessura da zona de transmissão vai aumentando e a profundidade de humedecimento vai descendo de forma mais ou menos contínua. A zona de saturação mantém uma espessura constante (próxima de 1,5 cm).

Após terem sido alteradas as condições de fornecimento de água à superfície do solo, processam-se dois fenómenos: a drenagem interna e a redistribuição. A primeira consiste numa cedência de água da parte superior para a parte inferior do perfil de um solo, após ter havido uma redução ou um corte na taxa de abastecimento. Ocorre na presença de uma superfície freática elevada ou inicia-se com um perfil saturado ou quase em toda a profundidade que se pretende estudar.

A redistribuição ocorre na ausência de uma superfície freática e consiste na cedência de água, por secagem, da parte superior à parte inferior do solo na zona do perfil considerada.

Os solos mediterrâneos são solos não homogéneos. O processo da infiltração é condicionado pela heterogeneidade do perfil do solo. Nestes solos, durante a fase inicial do processo da infiltração sob submersão à superfície, a taxa de infiltração é controlada pela infiltrabilidade da camada superior do perfil, de textura mais grosseira e consequentemente com maior permeabilidade. Quando a frente de humedecimento atinge o horizonte B, de permeabilidade inferior, é muito lenta a passagem da água para os níveis inferiores do perfil e o movimento da água infiltrada passa a fazer-se quase só horizontalmente. Forma-se assim uma toalha freática suspensa acima do horizonte B (Serralheiro, 1995).

Com a subsolagem pretende-se facilitar a passagem da água através do horizonte B, melhorando-se as condições de drenagem interna do solo e reduzindo-se desta forma os riscos de formação de toalhas freáticas suspensas.

3.6. PERFIL RADICAL

O perfil radical é o resultado do desenvolvimento do sistema radical da planta através do solo. O crescimento das raízes, embora intimamente dependente das características genéticas da planta, também depende do meio onde esta se desenvolve. Ao encontrar pontos de resistência, a raiz acaba por crescer noutras direcções, podendo assim obter-se informação sobre a estrutura do solo.

Com o aumento da macroporosidade resultante da subsolagem, espera-se obter também um aumento da circulação do ar no solo, favorecendo-se desta forma a actividade do sistema radical da cultura.

3.7. PRODUÇÃO DA CULTURA

A produção é o factor determinante que pode levar a implementar ou não determinada técnica. Se um agricultor se apercebe que a introdução de uma alteração ao que lhe era tradicional leva á obtenção de aumentos de produção visíveis, então ele não hesita em introduzir essa alteração.

A produção é condicionada pelo conjunto de operações que começam com a preparação do terreno para a sementeira, passam pela rega, as adubações, as variedades, o solo, etc..

Isto significa que uma alteração introduzida num destes factores pode conduzir a ganhos ou a perdas na produção, que podem ser mais ou menos significativos.

Como já foi referido, com a introdução da subsolagem pretende-se que o sistema radical das plantas se desenvolva a maiores profundidades, explorando-se desta forma a fertilidade potencial do solo. Espera-se assim obter ganhos na produção e avaliar se estes são ou não significativos.

Capítulo 4

Material e métodos

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO E DURAÇÃO DO ENSAIO

O ensaio decorreu entre os meses de Maio e Outubro de 1997 no campo experimental que o Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora conduz na Herdade do Cabido, situada no perímetro de rega do Divor, a 5 km de Arraiolos e a 3 km da Igreja.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O ensaio foi instalado num solo que, segundo a classificação portuguesa de Carvalho Cardoso (1965), é um solo Mediterrâneo Pardo derivado de granitos e granodioritos, Pmg.

Este tipo de solos caracteriza-se por possuir um horizonte B iluvial como resultado da migração da argila das camadas superiores do perfil e sua deposição nesse horizonte. O horizonte B é conseqüentemente um horizonte compactado, constituindo um imperme estrutural, que condiciona o processo de infiltração e impede o normal desenvolvimento radical das culturas instaladas nesses solos.

4.3. ORGANIZAÇÃO DO TERRENO EM BLOCOS DE CONTORNO

O terreno onde decorreu o ensaio foi previamente organizado em terraços de contorno, cuja superfície foi regularizada, tendo os cálculos da movimentação de terras sido efectuados com base no Método dos Perfis. Foram construídos terraços com declive longitudinal de 0,2%, ficando o transversal com um máximo de cerca de 2,22%.

Esta construção teve como objectivo aproveitar um terreno ondulado, como o são a maioria dos que se encontram no Alentejo, para a rega por sulcos, através de uma movimentação mínima de terras, colocando as parcelas de rega segundo as curvas de nível.

Os terraços construídos foram separados entre si por um valado, composto por uma vala e um cômodo. A vala recolhe os caudais excedentes provenientes dos sulcos que nela terminam. Estes são conduzidos a uma vala de recolha de excedentes construída no final do campo.

As próprias características do sistema fazem com que o comprimento dos sulcos não seja igual em todo o campo, nem mesmo em cada terraço. Aí os sulcos maiores são os de montante, havendo sulcos de menor comprimento na zona de jusante dos terraços. Assim, foram abertos sulcos cujo comprimento variava desde 160 até 260 m.

4.4. DELINEAMENTO DO ENSAIO

O ensaio constituiu-se por um conjunto de três terraços, representando cada um deles uma unidade experimental. Cada uma destas unidades representou uma modalidade sendo, portanto, o ensaio constituído por três termos de comparação para cada um dos parâmetros em estudo.

a) Modalidade SP - Subsolação profunda

Nesta modalidade foi efectuada uma subsolação profunda (70 cm), sendo separados de 1,5 m os itinerários sucessivos de um ferro de subsolador. Para realizar esta operação recorreu-se a um subsolador-vibrador de dois ferros, acoplado a um tractor. Pretendeu-se

desta forma actuar sobre o horizonte B, reduzindo a compactação (“deep loosening”) e possibilitando assim uma melhoria das condições de drenagem interna, uma facilitação do desenvolvimento radical, bem como da circulação do ar e da água.

A realização desta operação exigiu a utilização de um tractor com uma potência da ordem dos 150 cv e um solo relativamente seco, para que os objectivos que se pretendiam atingir com a subsolagem podessem ser alcançados.



Fig. 3 - Subsolador vibrador de dois ferros separados de 1,5 m. Os ferros são pernas com pés oscilantes, ligados por um tirante à tomada de força do tractor, que lhes confere um movimento de oscilação ou “vibração”.



Fig. 4 - Realização da operação de subsolagem profunda com o subsolador vibrador.

b) Modalidade SL - Subsolagem Ligeira

Nesta modalidade efectuou-se uma subsolagem ligeira, isto é, a 45 cm de profundidade, com uma separação de 75 cm entre itinerários dos ferros de subsolagem. Com esta operação pretendeu-se interferir sobre o horizonte B, introduzindo uma melhoria na sua macroestrutura, recorrendo a uma potência mecânica inferior à necessária para realizar a operação da modalidade SP.



Fig. 5 - Realização da subsolagem ligeira. O tractor estava a trabalhar com dois ferros de subsolagem (dentes de “ripper”) separados de 1,5 m, pelo que no itinerário inverso um dos ferros passaria entre os itinerários que agora estão a ser praticados.

c) Modalidade T - Testemunha

Modalidade testemunha onde não foi feita subsolagem. A cultura foi instalada apenas com mobilização tradicional.

4.5. CULTURA

A cultura do ensaio foi o milho (*Zea mays L.*). No terraço, foi semeada uma variedade para grão, um híbrido FAO classe 600, em linhas paralelas ao valado de montante.

Optou-se pelo milho, dado que é uma cultura que apresenta boa sensibilidade à água e aos nutrientes, sendo assim relativamente fácil avaliar os efeitos da subsolagem sobre o desenvolvimento da cultura e a sua produção.

4.6. PREPARAÇÃO DO TERRENO PARA A SEMENTEIRA

A preparação da cama da semente é fundamental para que se consigam obter boas percentagens de germinação.

Antes desta preparação e após a construção dos terraços, foi efectuada a subsolagem profunda num deles e a subsolagem ligeira noutro. A subsolagem foi feita nesta altura para que o tráfego de máquinas posterior fosse igual nas três modalidades e não se criasse dessa forma outro factor de diferenciação entre elas.

Em seguida foi feita uma passagem com o chisel, em todo o campo, para eliminar a compactação do solo criada pelo tráfego de máquinas aquando da regularização do terreno. Posteriormente foi preparada a cama da semente com recurso a uma fresa, com o que se visou obter um esmiuçamento dos torrões, permitindo assim que, aquando da sementeira, se conseguisse um bom contacto entre o solo e a semente.

4.7. ABERTURA DOS SULCOS

Os sulcos foram abertos imediatamente antes da sementeira, com um derregador acoplado a um tractor. Estes, em cada terraço, começaram a ser abertos de montante para jusante a partir de uma linha de estacas orientadora que foi colocada no cômodo. Este procedimento permitiu que os sulcos de jusante terminassem no valado do terraço subsequente.

Os sulcos foram abertos nesta altura e não mais tarde, para que, se necessário, fosse efectuada uma rega de germinação.



Fig. 6- Abertura dos sulcos com o derregador.

4.8. SEMENTEIRA

A sementeira foi efectuada no dia 3 de Junho, com um semeador em linhas, que simultaneamente fez a adubação de fundo. O milho foi semeado com uma distância de 75 cm na entrelinha, de 15 cm na linha de cultura e à profundidade de 5 cm.

A realização desta operação requereu alguns cuidados especiais para que a semente fosse colocada no cimo do camalhão, dado que foi necessário ter em conta as curvas resultantes da forma dos terraços. Essa questão foi resolvida de forma extremamente simples, tendo bastado para isso alargar ligeiramente os esticadores do terceiro ponto.

Como se pode observar pela figura 7, mesmo na curva, a semente foi depositada exactamente no cimo dos camalhões.



Fig. 7 - Sementeira do milho.

4.9. ADUBAÇÕES

A adubação foi a recomendada para uma produção de 10 toneladas por hectare, depois de serem efectuadas análises de terra em laboratório.

O fósforo e o potássio foram aplicados em fundo, na totalidade. O azoto foi aplicado 1/3 em fundo e 2/3 em cobertura.

A adubação de fundo foi efectuada conjuntamente com a sementeira sendo, assim, o adubo depositado abaixo da semente, portanto, localizadamente.

A adubação de cobertura visou distribuir os restantes 2/3 de azoto recomendados. Esta adubação foi efectuada conjuntamente com a rega de forma fraccionada, utilizando-se para o efeito uma solução azotada.

Assim, através da fertirrega foram aplicadas 180 unidades de azoto, em três regas consecutivas, quando o milho se encontrava joelheiro. Nas duas primeiras regas foram aplicadas 70 unidades de azoto e na terceira 40 unidades.

4.10. REGA

O método de rega utilizado foi o dos sulcos. Esta operação começou a efectuar-se no dia 9 de Julho, tendo a última rega sido efectuada no dia 19 de Setembro.

A rega do campo de ensaios foi efectuada com recurso a um sistema de Cabo-rega. Para tal, à cabeceira do campo foi colocado um tubo de PVC rígido janelado, com um diâmetro de 194 mm e formado por secções de 6 m de comprimento. As janelas são rectangulares (60 x 30 mm) e encontram-se separadas entre si por 75 cm (durante a rega as janelas estavam alternadamente abertas e fechadas, portanto a rega foi efectuada sulco sim, sulco não). A sua abertura é regulável, podendo desta forma controlar-se o débito em cada janela.

A colocação do tubo foi feita com o máximo de precisão, pois disso depende a uniformidade do débito das janelas e conseqüentemente a uniformidade de aplicação de água aos diferentes sulcos. Assim, recorreu-se a um emissor “laser” para regularizar o declive de um camalhão sobre o qual o tubo foi colocado. Este declive foi de 2,22%, precisamente igual ao declive transversal que presidiu à construção dos terraços e que representa o máximo declive natural do terreno no local.

Ainda um aspecto que foi necessário ter em conta foi o de colocar as janelas com um ângulo de 30° com a vertical, como faz parte do método “Cabo-rega”, e para que se obtivesse um caudal regular em todos os sulcos. Para o conseguir, colou-se um nível de

bolha de ar a um tubo de ferro quadrangular, cuja extremidade superior tinha sido corta a 60° com a horizontal. O ferro foi inserido nas janelas e o tubo rodado de modo a que o nível ficasse na horizontal.

O funcionamento do sistema aquando da rega foi referido no ponto 2.3.2.1..

4.10.1. ALIMENTAÇÃO DO CABO-REGA

A água utilizada para a rega provinha do canal do perímetro de rega do Divor, que passa junto ao campo de ensaio. A água era lançada numa caixa receptora e posteriormente conduzida através de um tubo até ao sistema Cabo-rega.

A água era filtrada no canal, utilizando-se para o efeito uma placa metálica perfurada. No entanto, por vezes, na fase final do ensaio, era necessário proceder à sua limpeza, mesmo durante a realização da rega, já que o canal se apresentava muito sujo de algas, folhas e outros resíduos vegetais.

4.10.2. MEDIÇÕES EFECTUADAS PARA AVALIAÇÃO DA REGA

Em cada uma das três modalidades foram seleccionados vários sulcos, denominados sulcos-medição e em cada rega foram medidos os seguintes parâmetros:

- *Tempos de avanço e de recessão* - Ao longo dos sulcos escolhidos foram colocadas estacas de 20 em 20 metros. Quando decorria a rega, era registada a hora a que a frente de avanço atingia cada estação e a hora a que a água desaparecia à superfície, portanto os tempos de recessão.

- *O andamento do êmbolo do Cabo-rega* - Eram registadas a hora de início e do final da rega em cada sulco.

- *Caudal de entrada* - Foram registados os caudais que, enquanto decorria a rega, se verificavam em cada janela. Estes foram fornecidos pelo programa “Cabogest” e confirmados pela sua medição.

- *Caudal de saída* - Depois da calibração efectuada em laboratório, foram instalados canaletes triangulares de soleira espessa, a 2 metros do final do sulco, do tipo projectado por Replogle e Bos (1982) e adaptados por Serralheiro (1988). A partir do momento em que a água atingia o canaleta eram registados, em intervalos de tempo regulares, os caudais excedentes.

- *Perfil dos sulcos antes e depois da rega* - Para fazer o levantamento do perfil transversal dos sulcos, utilizou-se um perfilómetro de barras. As barras estão separadas entre si por 2 cm e existe uma escala vertical, em centímetros, que permite ler a profundidade do sulco no ponto correspondente a cada uma delas.

Em cada sulco-medição foram estabelecidas duas estações de medição do perfil. Cada uma delas era constituída por dois pequenos tubos, instalados em dois camalhões contíguos, nos quais se inseria o perfilómetro. Estas estações permitiram que as leituras fossem sempre efectuadas no mesmo local antes e depois de cada rega.

Assim, em cada medição foram registadas as profundidades do sulco nos pontos correspondentes às barra do perfilómetro.

O perfil foi reconstituído, através de representação gráfica, em folha de cálculo. Depois de convertido à escala foram feitas as medições necessárias para que fossem determinados o perímetro e a área molhada da secção transversal dos sulcos.

- *Altura da água no sulco* - A altura da água no sulco foi medida com uma régua, nas estações de medição do perfil, sempre que a água avançava mais 40 metros no sulco.

Depois de obter estes dados foi feita a avaliação da rega utilizando-se para o efeito o programa ANREGA desenvolvido por Serralheiro (1988). Este programa faz a determinação da equação de infiltração através do balanço volumétrico de Elliott e Walker (1982) e faz uma avaliação qualitativa da rega pela determinação das eficiências de aplicação e de infiltração e do coeficiente de uniformidade de Chistiansen.

4.11. PERMEÂMETRO DE GUELF

O Permeâmetro de Guelf (PG), modelo 2800K1, é um aparelho que proporciona um método rápido e simples de determinação simultânea da Condutividade Hidráulica Saturada e da Sorvidade do solo. As medições podem ser realizadas e os resultados calculados em menos de uma hora.

4.11.1. MODO DE FUNCIONAMENTO

O PG é um permeâmetro de carga constante que emprega o princípio de Mariotte.

PRINCÍPIO DE MARIOTTE:

$$P_1 + P_2 = 1 \text{ ATM}$$

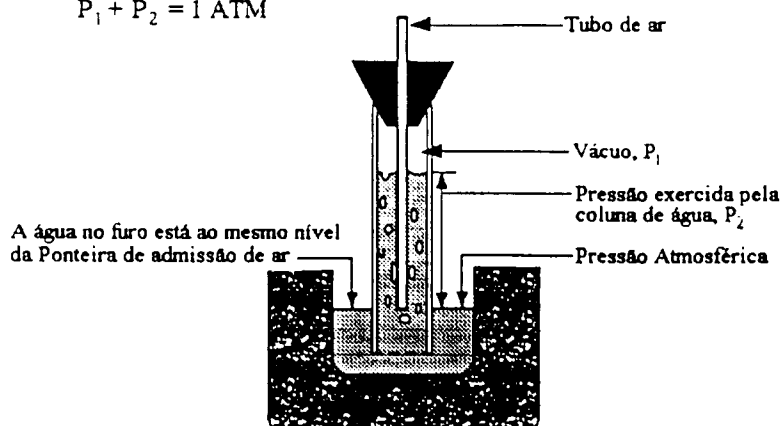


Fig. 8 - Esquema de funcionamento da garrafa de Mariotte.

Fonte: Manual do Permeâmetro de Guelf

Este método envolve a medição da taxa de recarga de água num solo não saturado a partir de um furo cilíndrico, no qual é mantida uma altura (carga) constante de água. Esta carga constante é estabelecida e mantida através da regulação do nível da base do tubo de ar, que está localizado no centro do permeâmetro. À medida que o nível de água do reservatório desce, é criado um vácuo no espaço de ar localizado acima da superfície da água. O vácuo só pode ser aliviado quando o ar, que entra no topo do tubo de ar, borbulha para fora da ponteira de admissão de ar e atinge o topo do reservatório. Sempre que o nível de água no tubo baixa em relação à ponteira de admissão de ar, emergem bolhas de ar da ponteira e sobem até ao espaço de ar do reservatório. O vácuo é então parcialmente aliviado e a água do reservatório abastece o furo. O tamanho da abertura e a forma da ponteira de admissão de ar são concebidas de modo a controlar o tamanho das

bolhas de ar, para assim evitar flutuações do nível da água do furo. A figura 9 ajuda a compreender o funcionamento do PG.

Como se pode observar na figura, o PG à esquerda encontra-se selado, com a ponteira de admissão de ar selada de encontro ao vedante. Ao passo que no PG à direita se verifica a elevação do tubo de ar acompanhado da ponteira de admissão de ar. A água escoá assim pelo tubo de suporte e ponteira de admissão de ar até ao furo.

Quando o PG está a ser utilizado, é estabelecido um equilíbrio. A pressão reduzida (vácuo) do ar localizada acima da água do reservatório conjuntamente com a pressão da coluna de água que se estende desde a superfície da água no furo até à superfície da água no reservatório, iguala sempre a pressão atmosférica.

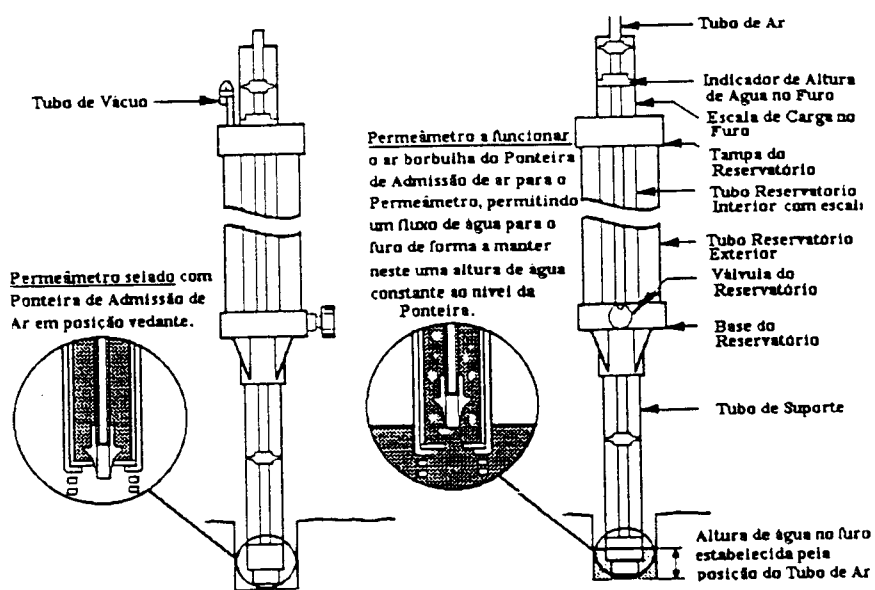


Fig. 9 - Constituintes e modo de funcionamento do Permeâmetro de Guelf.

Fonte: Manual do Permeâmetro de Guelf

Quando é estabelecida uma altura de água constante no furo do solo, forma-se rapidamente um “bolbo” de solo saturado de dimensões específicas. Este “bolbo” é bastante estável e o seu formato depende do tipo de solo, do raio do furo e da carga de água no furo. Uma vez estabelecido o formato único do “bolbo”, a saída de água do furo alcança um débito de equilíbrio constante, que pode ser medido. A taxa deste escoamento constante, conjuntamente com o diâmetro do furo e a altura de água dentro dele, podem ser utilizados para determinar com rigor a Condutividade Hidráulica Saturada e a Sorvidade do solo.

4.11.2. CONSTITUINTES

O *reservatório* para além de fornecer um meio de armazenamento de água, permite a medição do débito ou taxa de consumo de água. Durante a utilização do PG, o fluxo de água é controlado pela *válvula do reservatório*, que permite assim estabelecer ou não a conexão entre o *tubo do reservatório interior* e o *tubo do reservatório exterior*. Nos estudos em solos de baixa permeabilidade, caso dos Argiluviosos, utiliza-se apenas o tubo interior. Quando se estudam solos de média a elevada permeabilidade é utilizada a combinação de reservatórios, uma vez que o nível da água desce rapidamente e o volume da água contido no tubo do reservatório interior pode não ser suficiente para que se atinja a taxa de escoamento constante. Uma *escala*, numerada em centímetros e graduada em milímetros, está impressa no tubo do reservatório interior. Como o material plástico que constitui estes tubos é transparente, é possível medir a taxa de queda do nível da água em ambas as situações.

O *tubo de suporte* e o *tripé* sustentam o reservatório, o primeiro possibilitando o escoamento da água desde o reservatório até à *ponteira de saída da água*. Esta serve de base ao permeâmetro e dispersa a água que é escoada através de umas ranhuras localizadas no final da ponteira, minimizando assim a erosão do furo no solo.

O *vedante* está localizado junto à ponteira de saída da água e serve de “gargalo” para a ponteira de admissão de ar. Quando esta última se encontra ajustada ao vedante o ar não pode subir ao longo do tubo de suporte e não ocorre qualquer escoamento de água para fora do reservatório. A *ponteira de admissão de ar* está ligada à base do tubo de ar que é utilizada, como já foi referido, para regular a altura de carga no furo.

A *base do reservatório* para além de incluir a válvula do reservatório, liga e sela os tubos interior e exterior com o tubo de suporte. A *tampa do reservatório* inclui a *tomada de abastecimento* e o *tubo de vácuo* e permite vedar os reservatórios, selar o *tubo de ar* e suportar a escala de carga do furo. O tubo de vácuo, por sua vez, facilita a criação do vácuo quando, no início das leituras, os reservatórios não se encontram totalmente cheios. Depois de criado o vácuo, o tubo de vácuo é fechado com uma pinça.

O PG inclui ainda como ferramentas auxiliares: duas sondas para abrir o furo, uma escova para preparação do referido furo, uma bomba de vácuo e um contentor para a água.

4.11.3. REALIZAÇÃO DA LEITURA

A utilização do PG, de um modo geral, requer uma avaliação do local, tendo em conta a representatividade e as possíveis anomalias. Depois da sua selecção, procede-se à preparação do furo, à montagem do permeâmetro, ao enchimento dos reservatórios com

água e à colocação do permeâmetro no furo. Só em seguida se procede á realização da leitura que é composta por cinco etapas:

1ª ETAPA - Estabelecimento de uma carga de 5 cm

Subir o tubo de ar até que seja estabelecida uma carga de 5 cm, esta operação deve ser efectuada lentamente, caso contrário há o risco de ocorrência de turbulência, que originará erosão no furo.

2ª ETAPA - Selecção do reservatório apropriado

Observar a taxa de queda do nível de água no reservatório. Se esta for tão lenta que torne difícil as leituras consecutivas, normalmente num intervalo de dois minutos, deve posicionar-se a válvula do reservatório de maneira a que o nó fique apontado para baixo. A água vai ser fornecida apenas pelo reservatório interior, o que resultará numa queda de água muito maior entre leituras. Uma vez seleccionado o reservatório apropriado, não se deve alterar a válvula do reservatório.

3ª ETAPA - Medição do escoamento de água no permeâmetro (H_1)

O escoamento de água do permeâmetro para o solo é indicado pela taxa de queda ou descida de água do reservatório. Observa-se e anota-se o nível de água no reservatório seleccionado através da leitura realizada na escala impressa no tubo do reservatório interior. As leituras deverão ser realizadas em intervalos de tempo regulares. Como procedimento padronizado, são sugeridos pelo fabricante intervalos de dois minutos. A diferença do nível da água entre duas leituras consecutivas (cm), dividida pelo intervalo de

tempo (minutos) é igual à taxa de descida de água (r) no reservatório expressa em cm/min. O controlo da taxa de descida de água no reservatório deve ser efectuado até que a descida da taxa não se modifique significativamente em três intervalos de tempo consecutivos. Esta taxa é denominada de r_1 e é definida como a taxa de descida de equilíbrio da água no reservatório para a carga de 5 cm (H_1).

4ª ETAPA - Estabelecimento de uma carga de 10 cm

Subir lentamente a ponteira de admissão de ar até estabelecer a segunda altura ($H_2 = 10$ cm).

5ª ETAPA - Medição do escoamento de água no permeâmetro (H_2)

Tal como na 3ª etapa, controla-se a taxa de queda de água, (r), no reservatório até que se atinja o valor estável, r_2 , e que é definida como a taxa de queda de equilíbrio da água para a altura de 10 cm (H_2).

4.11.4. CÁLCULOS

A Condutividade Hidráulica Saturada (K) pode ser rapidamente calculada utilizando as equações apresentadas de seguida, que correspondem a cálculos padronizados. As equações a utilizar dependem da selecção do reservatório, sendo essencial utilizar as equações correctas de maneira a incorporar a “constante da célula”, que corresponde à área da secção transversal do reservatório seleccionado. A razão r_1 é pois, a taxa de queda ou consumo de água (cm/min) e obtém-se, como já foi referido, pela razão entre a variação do nível da água (cm) e o intervalo de tempo (min) entre leituras. R_1 é a taxa de

consumo de água (cm/s) e obtém-se pela razão $r_1/60$. A cálculo similar é sujeito o segundo grupo de leituras, R_2 .

$x = 35,76 \text{ cm}^2$ e $y = 2,14 \text{ cm}^2$ são as constantes dos reservatórios, correspondendo respectivamente x ao reservatório duplo e y ao reservatório interior.

Assim, a equação que permite determinar a Condutividade Hidráulica Saturada (cm/s) é a seguinte:

$$K = ((0,0041).(x \text{ ou } y).(R_2)) - ((0,0054).(x \text{ ou } y).(R_1)) \quad (4.1.)$$

4.11.5. RESULTADOS NEGATIVOS

O manual do PG apresenta algumas considerações sobre este problema, que pode ocorrer por vários motivos como sejam: o deficiente uso do método (perfuração mal executada, leituras incorrectas), ou a heterogeneidade do solo.

Quando é calculado um valor negativo da Condutividade Hidráulica Saturada, tal pode ser, segundo o fabricante do PG, um indicador da presença de uma descontinuidade hidrológica, causada tipicamente por uma estratificação do solo ou pela presença de cavidades provocadas por raízes e/ou organismos do solo.

No entanto, quando a estabilidade estrutural do solo é muito pequena, como acontece frequentemente no argiluvado, a turbulência criada, quando se muda o tubo de ar para passar a altura de água no furo de 5 cm para 10 cm, pode ser suficiente para desagregar apreciáveis quantidades de terra da superfície do furo, redepositando-se em seguida, diminuindo-lhe a permeabilidade. A infiltração torna-se menor na segunda fase, com um cilindro de água de 10 cm de altura, em relação à primeira em que a altura é apenas de 5

cm. A condutividade calculada será então negativa. O processo não será então válido. A ocorrência frequente destes casos deve fazer suspeitar da validade de todas as medições de condutividade no solo, mesmo que a agitação não tenha chegado a provocar os resultados negativos.

4.12. MÉTODO VOLUMÉTRICO

O método volumétrico permite, de uma forma simples, determinar a densidade aparente de um solo ou dos seus horizontes.

Um anel de volume conhecido é preenchido com solo, recorrendo-se ao auxílio de uma sonda e de um martelo, sem que a porosidade e a compacidade sofram alterações apreciáveis.

Os anéis são introduzidos numa estufa onde se procede à secagem do solo a uma temperatura de 105 °C e durante 24 horas após o que se procede à sua pesagem. Considera-se que este valor é “peso constante”, isto é, que se obteria de novo mesmo com tempos de estufa mais longos.

Posteriormente a determinação da densidade aparente é feita pela razão entre essa massa e a massa de igual volume de água.

Com a realização das operações de subsolagem procurou-se interferir sobre a estrutura do solo através de um aumento da porosidade, sobretudo ao nível do horizonte B, já que o horizonte A, de textura mais grosseira, é suficientemente poroso para permitir uma boa circulação da água no perfil do solo.

Assim, com a determinação da densidade aparente do solo em cada uma das três modalidades, pretendeu-se avaliar a capacidade das operações de subsolagem em

promoverem uma alteração da estrutura do solo que, como se depreende do que foi referido, importa sobretudo ao nível do horizonte B.

Para fazer essa avaliação foram abertos perfis no solo, com o auxílio de uma máquina retro-escavadora, em duas ocasiões: logo após a realização das operações de subsolagem (Junho de 97) e no final do ciclo cultural (Outubro de 1997).

Cada um dos perfis foi dividido em cinco camadas (0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm, 45-60 cm, 60-75 cm) tendo-se retirado cinco amostras para avaliação da densidade aparente em cada uma delas.

O valor da densidade aparente nas camadas consideradas foi obtido a partir da seguinte expressão:

$$Dap = \frac{\sum_1^n \frac{Psa}{Va}}{n} \quad (4.2.)$$

onde: *Dap* - Densidade aparente

Psa - Peso seco da amostra

Va - Volume da amostra

n - Numero de amostras

4.13. SONDA CAPACITIVA

A sonda capacitiva é um aparelho que permite determinar de forma rápida e segura os teores de humidade que em determinado momento existem no solo. Assim, através da sua

utilização torna-se possível controlar a rega, por forma a que a cultura se desenvolva usufruindo dos teores de humidade no solo desejados.

Este controlo é feito através de leituras da sonda que são efectuadas em tubos previamente colocados no solo, podendo desta forma e com leituras sucessivas a várias profundidades concluir sobre a evolução do perfil de humidade do solo.

Para que o uso da sonda se torne um processo fácil e rotineiro torna-se necessário, para cada solo, proceder à sua calibração, que consiste em estabelecer uma relação entre as leituras efectuadas com a sonda e os teores de humidade existentes no solo.

4.13.1 - CALIBRAÇÃO DA SONDA CAPACITIVA

Embora o fabricante do aparelho forneça uma carta de calibração, é importante que esta seja efectuada para cada tipo de solo, pois a calibração fornecida não é suficientemente rigorosa, devido principalmente à diferença na densidade aparente dos solos (Santos, 1995).

Assim, aquando da colocação dos tubos de acesso foi determinado o teor de humidade por via gravimétrica e feita a leitura correspondente a várias profundidades.

A calibração da sonda capacitiva, para um solo Pmg, foi realizada por Santos (1995), pelas duas formas previstas no seu manual:

a) Relação directa das leituras do solo (L_{solo}) com os teores de humidade θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), obtendo-se assim a curva de calibração $\theta = f(L_{\text{solo}})$.

Na figura seguinte encontra-se representada a curva de calibração que relaciona o teor volumétrico de água no solo com as leituras de valores registados no aparelho. Ao lado da

curva figuram a correspondente equação exponencial de calibração obtida por regressão e o respectivo coeficiente de correlação.

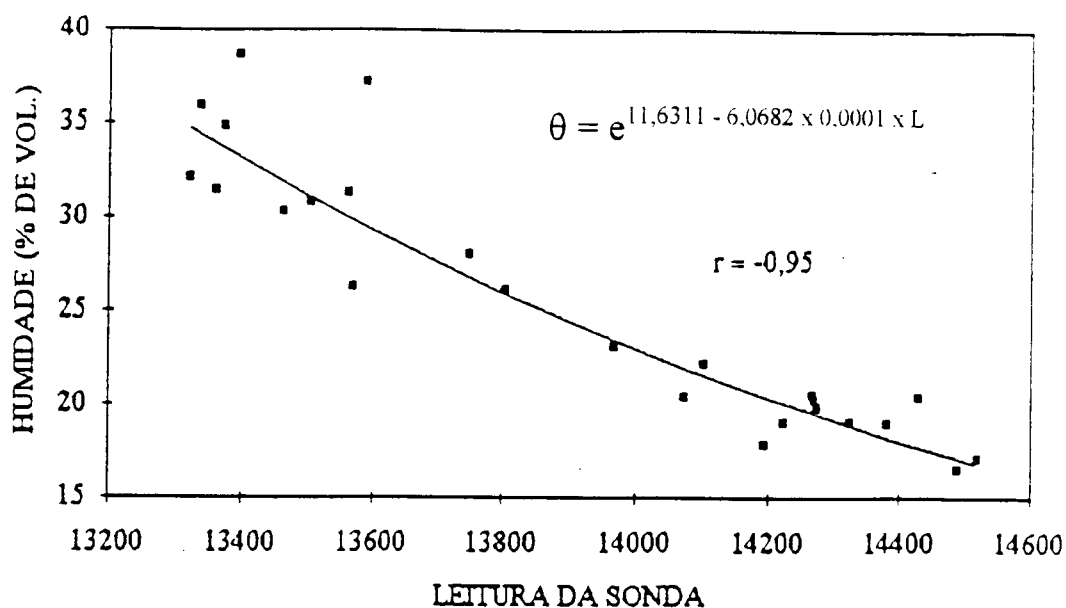


Fig. 10- Curva de calibração da sonda capacitiva, efectuada com 25 pontos para o perfil do solo Pmg.

Fonte: Santos, 1995.

b) Relação entre o teor volumétrico da água no solo e as Leituras Relativas ou “Frequência Universal”, (UF), sendo:

$$UF = (L_{ar}^{7,692} - L_{solo}^{7,692}) / (L_{ar}^{7,692} - L_{água}^{7,692}) \quad (4.3.)$$

A curva de calibração que se obtém para esta relação é do tipo $\theta = f(UF)$, onde L_{ar} e $L_{água}$ são respectivamente as leituras no ar e na água. Estas leituras foram efectuadas

diariamente enquanto decorreu o processo de calibração. Sendo $L_{\text{água}}$ obtidas num tubo de acesso mergulhado num reservatório de água preparado para o efeito.

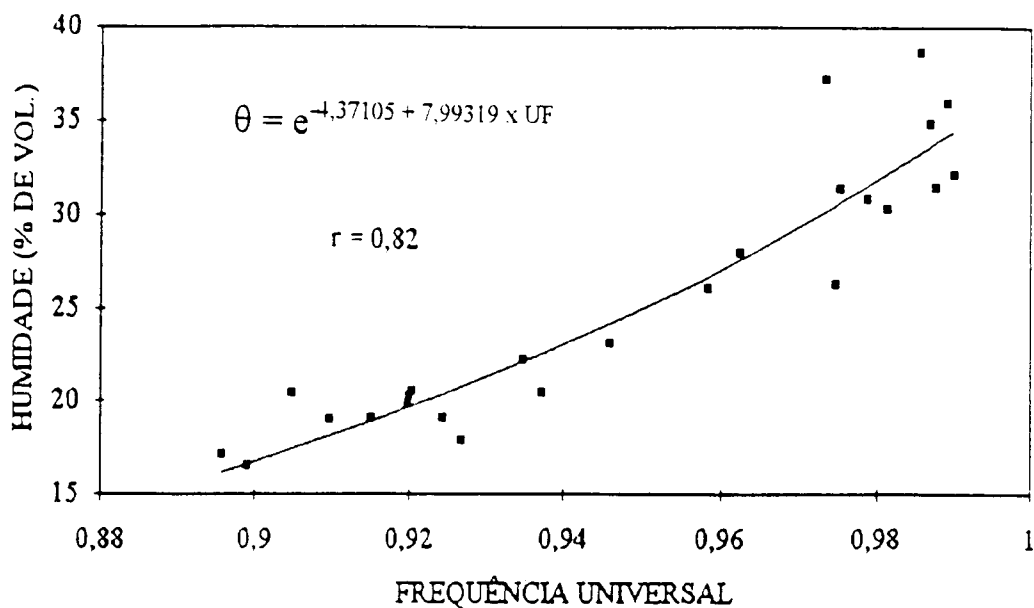


Fig. 11- Curva de calibração da sonda capacitiva, efectuada com 25 pontos para o perfil do solo Pmg.

Fonte: Santos, 1995.

O teor de água no solo é o principal factor que determina a resposta da sonda capacitiva, tendo esta uma sensibilidade acrescida para baixos valores de humidade, apresentando a porosidade do solo e a constante dieléctrica inerente uma influência secundária.

Quando se fazem medições num perfil, a constante dieléctrica inerente poderá e a porosidade provavelmente irá alterar-se com a profundidade devido a mudanças na estrutura do solo, o que poderá produzir uma ligeira distorção na “Curva de Calibração Universal” embora o efeito, segundo o fabricante, dificilmente ultrapasse os 2% no seu

conteúdo em água. Por este motivo, Santos (1995) não determinou curvas de calibração para cada horizonte.

4.13.2. COLOCAÇÃO DE TUBOS DE ACESSO DA SONDA CAPACITIVA

Em cada uma das modalidades foram instalados tubos de acesso à Sonda Capacitiva com o objectivo de observar a evolução do perfil de humidade entre regas.

A instalação dos tubos foi efectuada de acordo com as instruções referidas no manual da sonda capacitiva. Para isso foi utilizado um conjunto de equipamentos composto por um trado, um tubo guia interior, um tubo guia exterior, um prato-tripé e três âncoras de fixação ao solo.

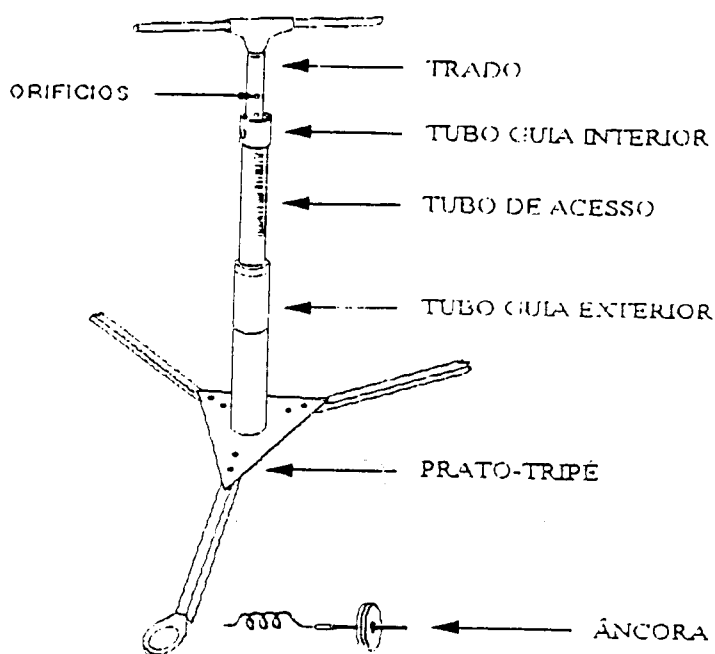


Fig. 12 - Esquema de montagem dos equipamentos necessários à instalação dos tubos de acesso da Sonda Capacitiva.

Fonte: Manual da Sonda Capacitiva.

Os tubos de PVC com 1 m de comprimento e 4,9 cm de diâmetro interno, foram equipados numa extremidade com um anel metálico cortante. Este procedimento permite o atarraxe do tubo guia interior ao tubo de acesso e, por outro lado, facilita a perfuração do solo.

Aquando da instalação dos tubos de acesso, o prato-tripé é colocado à superfície do solo e fixado com as âncoras no local onde o tubo vai ser instalado. Em seguida, o tubo guia exterior é atarraxado no prato-tripé.

O conjunto formado pelo tubo de acesso e o tubo guia interior é introduzido no tubo guia exterior de PVC, que possui três secções removíveis que vão sendo retiradas à medida que o tubo entra no solo.

No entanto, para que o conjunto tubo guia anterior/tubo de acesso entre no solo é necessário recorrer a um trado que trabalha no interior de todo o sistema. Este possui dois orifícios nos quais se introduzem cavilhas, que ao apoiarem no bordo de fora do tubo, limitam a entrada do trado.

O trado abre o orifício que permite que o tubo de acesso seja colocado no solo em etapas sucessivas retirando em cada uma delas um volume de solo correspondente a um cilindro com 4 cm de altura e 4,7 cm de diâmetro. Cada uma destas etapas é composta por duas fases, uma de perfuração e outra de limpeza, sendo em seguida o tubo guia interior forçado a entrar no solo e com ele o tubo de acesso.

Este procedimento é executado sucessivamente até que o conjunto tubo guia anterior/tubo de acesso entre no solo até à profundidade desejada. Quando isso acontece, desatarraxa-se

o tubo guia interior do anel metálico (que foi previamente colocado no tubo de acesso) e remove-se, tal como as âncoras e o prato tripé.

Durante a instalação dos tubos é fundamental não exercer pressão horizontal sobre o tubo de acesso para evitar que se criem espaços entre o solo e o tubo o que provocaria certamente leituras incorrectas da Sonda Capacitiva.

O tubo de acesso só deve considerar-se definitivamente instalado quando estiver fechado pela introdução de uma rolha de borracha na sua extremidade inferior, dentro do solo, e outra ou uma tampa na extremidade (boca) que fica fora do solo. Estas evitam a entrada de humidade e de outros materiais estranhos que se entrarem no tubo criam problemas para a utilização da Sonda.

Devido à grande dificuldade de instalação, foram apenas colocados dois tubos por cada modalidade. É que, para além de haver pedras em alguns pontos do perfil que podem evitar a penetração do tubo no solo, antes da primeira rega este encontrava-se com teores de humidade bastante baixos, o que o tornou solto no horizonte A, duro e compacto no horizonte B, impossibilitando a colocação do número de tubos inicialmente previsto.

A observação do teor de humidade com recurso à Sonda Capacitiva foi efectuado apenas durante as três primeiras regas, dado que o aparelho avariou e não se conseguiu concertá-lo ou encontrar um aparelho alternativo durante o ensaio.

Ainda assim, nas três primeiras regas foram efectuadas leituras a 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm de profundidade 24 horas antes, 24 e 48 horas após a rega.

4.14. ESTUDO DO APROFUNDAMENTO RADICAL

4.14.1. TÉCNICA DO MINI-RIZOTRÃO

Para verificação do desenvolvimento radical das plantas foi utilizado o método do mini-rizotrão. Este método tem a grande vantagem de permitir uma observação do crescimento radical *in situ*, não sendo um método destrutivo. Possibilita, desta forma, o acompanhamento do desenvolvimento do sistema radical da planta ao longo de todo o ciclo vegetativo.

Esta técnica envolve observações através de tubos de vidro ou plástico transparente previamente instalados no solo (mini-rizotrões). O estudo das raízes que se encostam à parede do tubo requer o uso de material para observação de objectos não acessíveis à vista (espelho, endoscópio, câmara) e de material de registo de imagens (desenho, fotografia e cassete de vídeo).

A densidade radical, a colonização a várias profundidades e a taxa de renovação radical são características facilmente observáveis pelo recurso a esta técnica.

4.14.1.1. INSTALAÇÃO DOS MINI-RIZOTRÕES

Em cada modalidade foram instalados três mini-rizotrões através dos quais, com recurso a um endoscópio ligado a uma fonte de luz, eram observadas semanalmente as raízes das plantas.

Os tubos de acrílico instalados tinham 1 m de comprimento, 6 cm de diâmetro externo e 5,2 cm de diâmetro interno.

Estes tubos foram instalados com o recurso a uma sonda que, uma vez orientada através de um suporte, permite a abertura de um orifício no solo com uma inclinação de 30° com a superfície. Tal inclinação reduz a probabilidade das raízes se desenvolverem na interface solo-tubo, como é frequente acontecer quando estes são colocados na vertical.

Após a abertura dos orifícios procedeu-se ao alisamento das suas paredes com o auxílio de um escovilhão colocando-se em seguida os tubos, de forma bastante cuidadosa para evitar a danificação das suas paredes para não prejudicar a observação das raízes.



Fig.13 - Aspecto dos mini-rizotrões envolvidos com plástico escuro.

Na extremidade superior, o tubo foi envolvido com plástico de cor escura com o intuito de proteger a entrada da luz o que alteraria o normal desenvolvimento radical e ao mesmo tempo proteger o tubo da entrada de água, animais e objectos estranhos.

Os mini-rizotrófos foram instalados a 20 m da cabeceira em três linhas consecutivas, dado que a necessidade de recorrer à energia eléctrica para activação da fonte de luz tornaria as observações muito mais difíceis e morosas, se os locais de instalação fossem muito separados.

4.14.2. TÉCNICA DO MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO RADICAL

Segundo Bohm (1979) a técnica do mapeamento de raízes num painel transparente foi proposta por Reijmerink (1967) num estudo sobre a distribuição radical dos espargos. Após a exposição das raízes através da utilização de jactos de água, era colocado um painel transparente em frente de um perfil vertical previamente aberto e em seguida colada a este uma folha de PVC transparente. Seguidamente sobre o PVC eram marcadas as raízes expostas tal como os limites do solo e dos próprios horizontes.

Breteler e van den Brock (1971) citados por Bohm (1979), propuseram uma alteração a este método, que consistia em colocar plástico transparente directamente sobre o solo depois de o alisar e fazer realçar as raízes (sem que para tal utilizassem jactos de água) e posteriormente marcavam as raízes visíveis.

O mesmo autor refere que este método é o mais apropriado para estudar não só a distribuição radical mas também classes de diâmetros das raízes. Para isso terão de ser usados símbolos ou cores diferentes para assinalar a presença de raízes de determinado diâmetro.

As desvantagens mais importantes decorrentes da utilização desta técnica prendem-se com o facto de esta ser bastante morosa e trabalhosa, ao mesmo tempo que se trata de um

método destrutivo, não permitindo assim que seja acompanhada a dinâmica do crescimento radical ao longo do ciclo da cultura.

4.14.2.1. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

No presente trabalho foi utilizado o método proposto por Tardieu (1984) que, além de fazer uma análise do sistema radical por cartografia do perfil vertical, também utiliza o perfil horizontal.

Este método permite caracterizar a geometria do sistema radical (regularidade, relação densidade/profundidade), caracterizar a eficácia do enraizamento em relação à absorção de água e nutrientes, diagnosticar a consequência das técnicas culturais sobre o enraizamento e compará-lo estatisticamente em relação a várias parcelas, ou seja, avaliar de forma quantitativa e qualitativa a influência das características do perfil cultural na quantidade, distribuição e crescimento das raízes.

Como se trata de um método destrutivo, no final do ciclo cultural foram abertos perfis verticais com a profundidade de um metro com o auxílio de uma máquina retro-escavadora.

Em cada uma das covas abertas foi preparado o perfil vertical com uma faca, de modo a obter uma superfície mais ou menos lisa e fazendo sobressair as raízes. Em seguida foi colocada uma tela de plástico transparente, de 80 cm x 75 cm, em contacto com o solo, devidamente fixada, e foram marcadas as intersecções das raízes com o plástico segundo quatro classes de diâmetro:

- Raízes com $\varnothing < 1$ mm - cor preta;

- Raízes com $1 \text{ mm} < \varnothing < 2 \text{ mm}$ - cor vermelha;
- Raízes com $2 \text{ mm} < \varnothing < 3 \text{ mm}$ - cor azul;
- Raízes com $\varnothing > 3 \text{ mm}$ - cor verde.

Foram ainda assinalados os limites do solo e dos horizontes, bem como pedras e outros corpos estranhos presentes no perfil.

Depois de mapear as raízes do perfil vertical foram abertos planos horizontais com as dimensões de 75 cm x 60 cm às profundidades de 15, 30, 45, 60 e 75 cm. Estes foram devidamente preparados e em seguida procedeu-se da mesma forma para marcar as raízes observáveis em cada um deles.

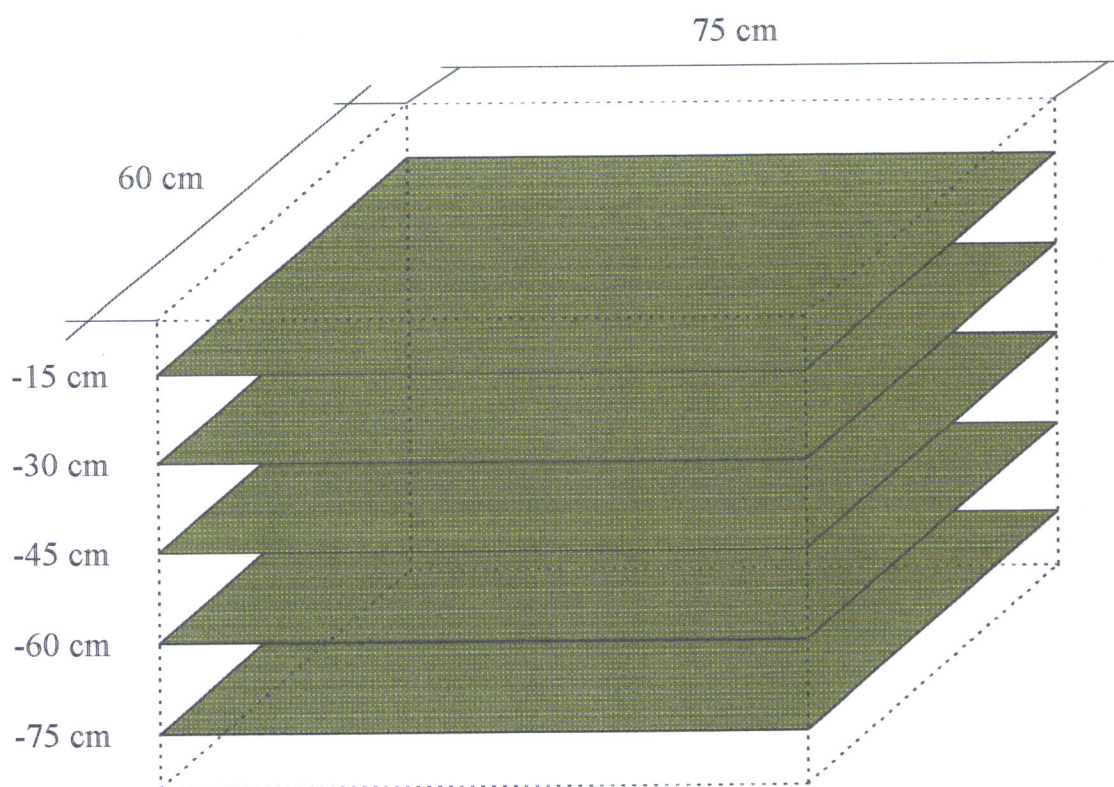


Fig. 14 - Esquema ilustrativo dos planos horizontais amostrados

A superfície amostrada representa a distância entre as partes médias de duas entrelinhas contíguas e o comprimento correspondente a quatro plantas na linha.

4.15- AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO

A avaliação da resistência à penetração tem como meta determinar se as operações de subsolagem produziram alterações na estrutura do solo capazes de facilitar o desenvolvimento do sistema radical da cultura.

Para isso, tentou-se numa primeira fase, avaliar a resistência à penetração com recurso a um penetrógrafo que, forçado a entrar no solo, desde a superfície, permitia obter continuamente valores deste parâmetro ao longo de todo o perfil do solo.

Esta primeira tentativa não sortiu contudo os efeitos desejados, dado que raramente se conseguiu fazer com que o cone do penetrógrafo entrasse no solo para além de uma profundidade de 10-12 cm. Tal situação deveu-se ao facto de o cone, com 1 cm de diâmetro, mesmo em solo subsolado, não encontrar zonas de fendilhamento que permitissem a sua penetração.

Assim, após se ter concluído que, com um aparelho deste tipo não era possível efectuar a avaliação pretendida, optou-se por abrir perfis nas três modalidades, para o fazer nas paredes dos perfis abertos.

Foi utilizado um penetrómetro “Pocket Penetrometer GL 700” que, forçado a entrar na parede do perfil do solo, fornece um valor da resistência à penetração em cada um dos pontos considerados.

Constituiu-se uma malha de 10 cm x 10 cm tendo as observações sido efectuadas no espaço entre duas entrelinhas consecutivas e até uma profundidade de 70 cm.

4.16. PRODUÇÃO

A avaliação da produção foi feita por amostragem, tendo sido determinados os seguintes parâmetros:

- Produção de grão.
- Produção de biomassa da parte aérea (Folhas + caule + carolo).

Para recolher as amostras foram escolhidos três sulcos por modalidade e em cada um deles três locais distintos (o que correspondeu a nove amostras por modalidade):

- Local 1: a 20 metros da cabeceira;
- Local 2: a meio do sulco;
- Local 3: a 20 metros do final do sulco.

Como em cada um desses locais estava colocada uma estaca, mediu-se 1 metro a partir desta. Foram cortas todas as plantas e separadas as infrutescências da restante parte aérea. Depois de devidamente acondicionadas em sacos, as amostras com os caules e as folhas foram introduzidas numa estufa onde se procedeu à sua secagem a uma temperatura de 60 °C e durante 24 horas.

As amostras com as infrutescências também foram secas em estufa a 60 °C durante 24 horas, após o que se procedeu à sua debulha separando-se o grão do carolo.

Após a secagem procedeu-se à pesagem das amostras de folhas+caules, grão e carolos, tendo o peso dos carolos sido somado ao das amostras de folhas+caules para se obter o

peso da biomassa da parte aérea em cada amostra. Depois de efectuadas todas as pesagens os resultados obtidos foram referidos ao hectare.

4.17. FORMA DE APRESENTAÇÃO E TRATAMENTO DOS RESULTADOS

O tratamento dos dados recolhidos no campo de ensaios foi efectuado com o recurso à folha de cálculo “Excel for Windows”.

Os resultados referentes à dinâmica do crescimento radical, à evolução do perfil de humidade do solo entre regas e à resistência à penetração apresentam-se expressos graficamente, uma vez que se considerou ser esta a forma mais adequada de os interpretar.

Os resultados referentes ao estudo da população vegetal, nomeadamente a produção e a densidade radical, e aos parâmetros hidropedológicos do solo foram sujeitos a tratamento estatístico.

A utilização de tratamento estatístico é bastante importante na medida em que, neste tipo de ensaios, os dados são obtidos por amostragem, por isso as conclusões a retirar são muito mais fundamentadas. É necessário ter em atenção que a amostragem também constitui uma etapa fundamental, pois a interpretação e a validade dos dados depende do processo de amostragem utilizado.

Assim foram utilizadas análises de variância monofactoriais ou multifactoriais, consoante se admitia que os dados obtidos dependiam apenas de um factor ou eram o resultado da interacção de dois ou mais.

A análise de variância (ANOVA) permite concluir sobre a existência de diferenças significativas, entre as médias dos parâmetros em estudo, resultantes da acção de um ou mais factores.

O porquê da existência de diferenças significativas é passível de ser detectado pelo recurso à aplicação do Teste de Comparações Múltiplas de Scheffé. Este teste socorre-se da determinação da Mínima Diferença Significativa (MDS) para determinados níveis de significância e posterior comparação com o somatório de cada um dos níveis susceptíveis de introduzir as diferenças.

Portanto, o Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé só é aplicado quando, através do Teste F, se conclui existirem diferenças significativas em relação a determinado parâmetro.

Capítulo 5

Apresentação e discussão dos resultados

5.1. DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente constitui um parâmetro do solo que é função da textura, da estrutura e do teor em matéria orgânica.

Num solo estratificado, como o são os argiluvados, é de esperar que o valor da densidade aparente varie com a profundidade, pois as características dos horizontes que constituem o seu perfil são bastante heterogéneas, quer no que concerne à textura como à sua estrutura.

No quadro seguinte encontram-se os valores médios obtidos por perfil, para cada uma das camadas consideradas. Os perfis A, B, C, D e E foram abertos em Junho e os perfis F, G e H em Outubro. As amostras para determinação da densidade aparente foram recolhidas nos dias que se seguiram à abertura dos perfis.

Modalidade	Testemunha		Subsolagem Ligeira			Subsolagem Profunda		
	Perfil A	Perfil F	Perfil D	Perfil E	Perfil G	Perfil B	Perfil C	Perfil H
0-15	1,68	1,59	1,68	1,61	1,61	1,71	1,65	1,62
15-30	1,80	1,72	1,92	1,76	1,68	1,89	1,84	1,81
30-45	1,77	1,86	1,84	1,79	1,84	1,74	1,73	1,79
45-60	1,69	1,71	1,75	1,79	1,74	1,68	1,68	1,70
60-75	1,71	1,71	1,72	1,68	1,70	1,68	1,71	1,70

Quadro 1- Valores médios da densidade aparente obtidos para cada perfil, em cada modalidade, nas camadas consideradas.

Da análise deste quadro ressalta que não há uma diferença sensível entre os valores da densidade aparente entre as três modalidades. O que se verifica na maioria dos perfis é que os valores da densidade aparente são mais baixos à superfície, para aumentarem nas

camadas subsuperficiais e voltarem a diminuir nas camadas mais profundas. Esses valores mais baixos corresponderam a zonas do perfil de textura mais grosseira, portanto, aos horizontes A e C, com uma macroporosidade superior.

Os valores mais elevados da densidade aparente encontram-se às profundidades 15-30 cm e 30-45 cm. O facto de estes valores serem mais elevados na camada 30-45 cm é perfeitamente lógica e esperada, uma vez que se trata do horizonte B. Como em alguns perfis a densidade aparente apresenta valores mais elevados na camada 15-30 cm, portanto em pleno horizonte A, admite-se que os perfis foram abertos numa zona de corte, quando se procedeu à regularização do terreno, zona onde são notórios os efeitos de compactação pela lâmina regularizadora e do corte, tendo o horizonte ficado mais delgado.

A argila que se deposita no horizonte B, proveniente das camadas superiores do perfil, acaba por colmatar a maioria dos poros e constituir uma zona do perfil de textura muito mais fina que a camada suprajacente.

O facto de os maiores valores da Dap não se situarem sempre à mesma profundidade pode ser o resultado do movimento de terras que foi efectuado aquando da regularização do terreno, criando-se desta forma alguma heterogeneidade no campo em relação ao perfil do solo.

Portanto, a partir de uma primeira apreciação dos resultados obtidos para este parâmetro, conclui-se que as operações de subsolagem não produziram uma alteração da estrutura do solo e sobretudo no horizonte B, capaz de ser detectada através da determinação da densidade aparente.

Com as considerações anteriores discorreu-se acerca das condições pedológicas que terão originado os valores da densidade aparente obtidos no campo de ensaios. Para tentar concluir-se com maior segurança numérica se a subsolagem produziu alterações no perfil

do solo avaliáveis através da densidade aparente, optou-se por efectuar um tratamento estatístico dos resultados obtidos.

ORIGEM DA VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Profundidade	0,34	4	0,0847	5,83*
Modalidade	0,07	2	0,0363	2,50
Interacção	0,05	8	0,0062	0,43
Erro	0,87	60	0,0145	
Total	1,33	74		

- Valor Crítico para a Distribuição de F (60,4) para um nível de 5% = 2,52

- Valor Crítico para a Distribuição de F (60,2) para um nível de 5% = 3,15

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 2- ANOVA para os valores da densidade aparente obtidos, em perfis abertos no solo em cada modalidade, em Junho de 97.

ORIGEM DA VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Profundidade	0,2141	4	0,0535	12,46*
Modalidade	0,0007	2	0,0004	0,08
Interacção	0,0396	8	0,0049	1,15
Erro	0,1289	30	0,043	
Total	0,3834	44		

- Valor Crítico para a Distribuição de F (30,8) para um nível de 5% = 2,27

- Valor Crítico para a Distribuição de F (30,4) para um nível de 5% = 2,52

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 3- ANOVA para os valores da densidade aparente obtidos, em perfis abertos no solo em cada modalidade, em Outubro de 97

Foi realizada a análise de variância comparando-se os valores da Dap obtidos no perfil testemunha, com os valores obtidos num perfil de cada uma das duas modalidades subsoladas. Esta análise referiu-se às duas ocasiões: Junho e Outubro e os resultados são os apresentados nos quadros 2 e 3.

A análise destes quadros vem confirmar aquilo que já foi referido, já que a ANOVA não mostra diferenças significativas entre as modalidades. Existem contudo diferenças significativas entre as camadas consideradas. Estas diferenças são perfeitamente esperadas e justificáveis, uma vez que são o resultado das variabilidade da textura e da estrutura que existe dentro do perfil do solo. Conclui-se portanto que a densidade aparente não foi, neste ensaio, parâmetro que servisse para traduzir as variações de porosidade eventualmente introduzidas no horizonte B pelas operações de subsolagem.

5.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE HUMIDADE-TENSÃO

As curvas características de humidade-tensão foram obtidas apenas para o horizonte B uma vez que era nele que importava conhecer os efeitos das operações de subsolagem sobre alterações na porosidade responsáveis pela retenção da água.

Em laboratório, as amostras de solo recolhidas foram sujeitas a forças extractivas da água correspondentes a pF 2, 2.54, 3 e 4.2. Os valores de teor de humidade obtidos contra uma força de extracção correspondente ao pF de 4.2 foram completamente desajustados, o que se deveu provavelmente a anomalias do processo laboratorial, pelo que se optou por excluir esses valores desta análise.

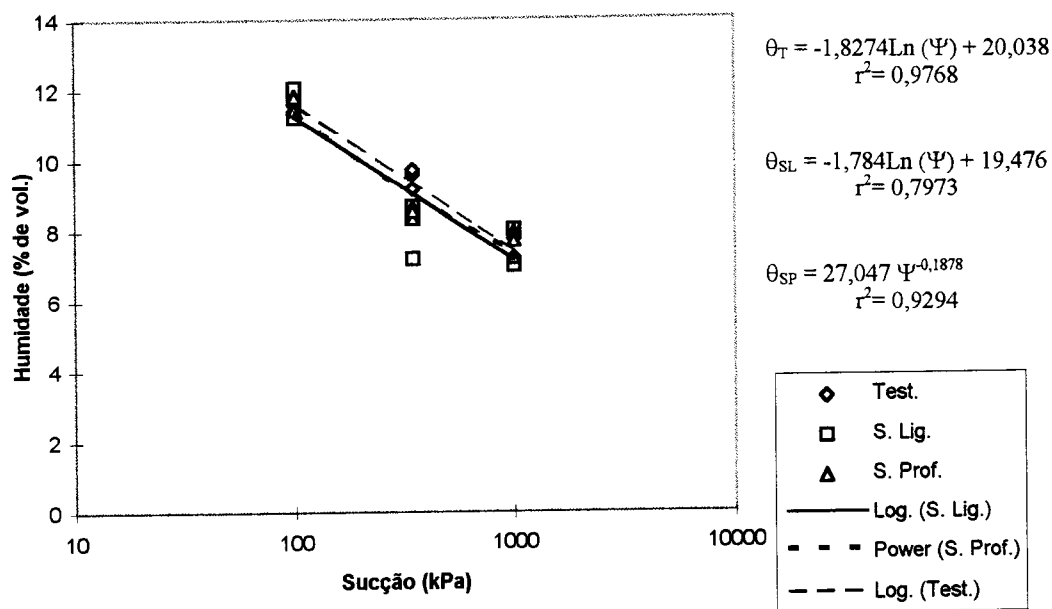


Fig. 15: Curvas de humidade-tensão obtidos para cada modalidade no horizonte B.

As curvas de humidade-tensão obtidas foram as que se encontram na figura 15. A sua análise permite concluir que não foram produzidas alterações pela realização das operações de subsolagem. As curvas são praticamente iguais o que revela que o teor de humidade que o solo consegue reter quando sujeito às forças de extracção da água não sofreu alterações. Isto significa que não houve alteração na microporosidade do solo, pelo menos em extensão abarcável pelo processo de amostragem para as determinações laboratoriais (recolha dispersa de pequenas amostras, não perturbadas, em anéis de cerca de 4 cm de diâmetro).

5.3. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA

Os dados referentes à condutividade hidráulica saturada (K) foram obtidos através do permeâmetro de Guelf. Em cada modalidade foram efectuadas oito leituras às profundidades de 15 e 45 cm. Portanto, um conjunto de leituras foi efectuado no horizonte A e outro no Horizonte B.

As leituras foram realizadas em pontos escolhidos aleatoriamente em cada terraço. Considerou-se, por isso, que o único factor passível de introduzir diferenças nos valores da condutividade hidráulica saturada seriam as operações de subsolagem.

Os valores da condutividade hidráulica saturada obtidos foram tratados separadamente em termos de horizontes A e B.

Os valores de K obtidos no horizonte A, em cada modalidade, foram aqueles que se apresentam no quadro seguinte.

REPETIÇÃO	MODALIDADE		
	TESTEMUNHA	SUB. LIGEIRA	SUB. PROFUNDA
1	14,5	52,2	22,3
2	22,8	33,0	27,8
3	77,5	74,9	90,0
4	67,3	74,1	61,7
5	55,0	73,7	19,3
6	11,0	38,5	19,7
7	98,5	48,1	70,0
8	49,3	40,4	71,2
MÉDIA	49,49	54,36	47,75
D. PADRÃO	29,5	16,3	26,6

Quadro 4 - Condutividade hidráulica saturada, expressa em 10^{-5} cm/s, obtida pela técnica do Permeâmetro de Guelf a 15 cm de profundidade.

Estes dados foram sujeitos a tratamento estatístico através da análise de variância. Para este parâmetro, realizou-se uma análise monofactorial de variância.

Assim, para a profundidade de 15 cm, a realização da ANOVA produziu o seguinte quadro resumo:

ORIGEM DA VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Modalidade	$1,88 \times 10^{-8}$	2	$9,40 \times 10^{-9}$	0,13384
Erro	$1,48 \times 10^{-6}$	21	$7,02 \times 10^{-10}$	
Total	$1,49 \times 10^{-6}$			

- Valor Crítico para a Distribuição de F (21,2) para um nível de 5% = 3,47

Quadro 5 - ANOVA para os valores da condutividade hidráulica saturada obtidos a 15 cm de profundidade.

A comparação dos valores obtidos para o teste F com os valores críticos de F tabelados permite concluir que não foram produzidas diferenças significativas entre as médias deste parâmetro nas diferentes modalidades. Esta análise só vem confirmar aquilo que já se previa, pois a 15 cm de profundidade, em pleno horizonte A, arenoso ou arenoso franco, não era de esperar efeito da subsolagem.

No quadro 6 encontram-se os valores da condutividade hidráulica saturada obtidos a 45 cm de profundidade.

REPETIÇÃO	MODALIDADE		
	TESTEMUNHA	SUB. LIGEIRA	SUB. PROFUNDA
1	0,21	5,80	0,40
2	0,30	4,60	5,70
3	2,13	3,50	1,60
4	1,66	3,00	3,70
5	5,00	2,00	6,60
6	0,79	4,30	10,0
7	0,99	1,10	2,30
8	0,84	1,80	2,60
MÉDIA	1,49	3,26	4,11
D. PADRÃO	0,623	1,49	2,95

Quadro 6 - Condutividade hidráulica saturada, expressa em 10^{-5} cm/s, obtida pela técnica do Permeômetro de Guelf a 45 cm de profundidade.

A sua análise estatística gerou o seguinte quadro resumo:

ORIGEM DA VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Modalidade	$4,35 \times 10^{-9}$	2	$2,18 \times 10^{-9}$	5,0684*
Erro	$9,02 \times 10^{-9}$	21	$4,29 \times 10^{-10}$	
Total	$1,34 \times 10^{-8}$			

- Valor Crítico para a Distribuição de F (21,2) para um nível de 5% = 3,47

* - Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 7 - ANOVA para os valores da condutividade hidráulica saturada obtida a 45 cm de profundidade.

Pode constatar-se que a análise de variância revelou a existência, com 95% de probabilidade, de diferenças significativas para a média das observações.

Torna-se assim, neste caso, necessário recorrer ao teste das comparações múltiplas de Scheffé para determinar a origem destas diferenças.

MODALIDADE	SUB. LIGEIRA	SUB. PROFUNDA
TESTEMUNHA	$2,34 \times 10^{-5}$	$3,19 \times 10^{-5}$ *
SUB. LIGEIRA		$8,50 \times 10^{-6}$

MDS calculada para um nível de significância de 5% = $2,73 \times 10^{-5}$

* - Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 8 - Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades.

Este teste permite afirmar, com uma probabilidade de 95%, que os valores da condutividade hidráulica, obtidos a 45 cm de profundidade, foram significativamente superiores no terraço onde foi feita a subsolagem profunda.

Não se verificou contudo o aparecimento de diferenças significativas deste parâmetro entre as modalidades T e SL e as modalidades SL e SP.

A análise dos valores da condutividade hidráulica saturada permite verificar que esta é bastante maior no horizonte A do que no B. Este facto é perfeitamente lógico e esperado, pois o horizonte A apresenta uma macroporosidade bastante superior. O horizonte B é fortemente compactado, sendo isso uma consequência da argila que aí se depositou vinda das camadas superiores do perfil do solo. Essa argila acaba por colmatar os poros sendo assim logicamente dificultada a circulação da água neste horizonte.

As operações de subsolagem não produziram modificações na estrutura do horizonte A capazes de alterar os valores da condutividade hidráulica neste horizonte. Foram, no entanto, produzidas alterações ao nível do horizonte B capazes de modificar os valores de K. Estas alterações foram mais sensíveis no terraço onde foi efectuada a subsolagem profunda.

O aumento da condutividade hidráulica saturada resulta de uma maior facilidade de circulação da água no perfil do solo, que certamente se traduzirá por uma melhoria nos processos de redistribuição e drenagem interna, reduzindo-se as probabilidades de formação de toalhas freáticas suspensas.

5.4. PERFIS DE HUMIDADE E SUA EVOLUÇÃO

Com a determinação dos perfis de humidade do solo nas três modalidades, antes e após a rega, pretendeu-se avaliar os efeitos que as operações de subsolagem induziram nas condições físicas do perfil do solo, responsáveis por alterações do processo da infiltração.

Os perfis de humidade que se apresentam neste relatório foram obtidos na primeira e na terceira rega controladas.

Antes da primeira rega foi efectuada uma leitura com a sonda capacitiva tendo-se considerado que os teores de humidade iniciais, ao longo do perfil do solo, eram iguais nas três modalidades.

Após se ter efectuado a primeira rega (24 horas depois) foi feita uma leitura com o objectivo de avaliar a evolução do perfil de humidade em cada uma das modalidades. Os perfis hídricos obtidos são os que se encontram na figura 16.

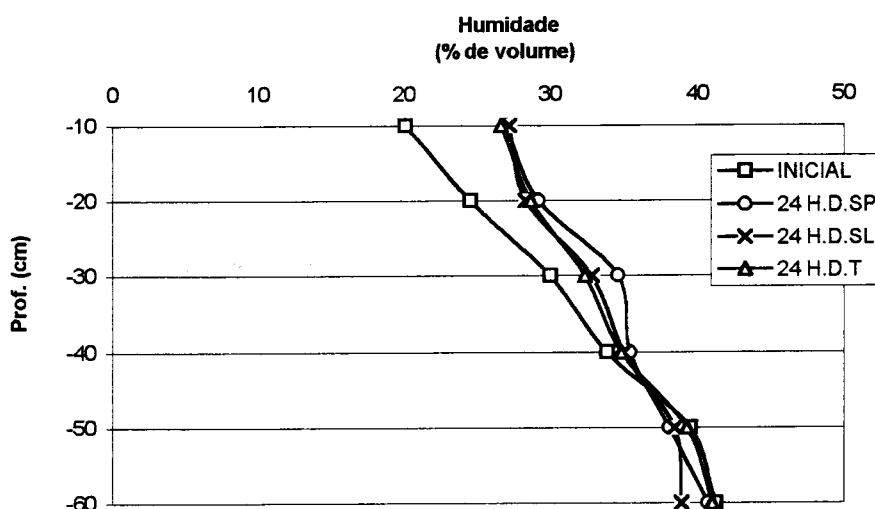


Fig. 16 - Perfis de humidade obtidos, nas três modalidades, 24 horas antes e 24 horas depois da primeira rega controlada.

O teor de humidade antes da rega era baixo nas camadas superiores do perfil do solo, no entanto verificou-se que este aumentava com a profundidade. A partir dos 45 cm, em todas as modalidades, o solo encontrava-se provavelmente à capacidade de campo, pelo que não seria de esperar um aumento do teor de humidade indicado pela sonda, como de resto se verificou.

Embora a percentagem de humidade fosse relativamente alta nas camadas inferiores do perfil, antes da primeira rega as plantas encontravam-se em stress hídrico, pois o seu sistema radical ainda não se encontrava suficientemente desenvolvido para lhes permitir absorver a água existente nos horizontes inferiores.



Fig. 17 - Aspecto do campo de ensaios antes da primeira rega.

A análise dos perfis de humidade, obtidos 24 horas após a rega, permite constatar que em qualquer das três modalidades o teor de humidade, até uma profundidade de 45 cm, era superior ao inicial não se registando contudo alterações significativas nas camadas inferiores do perfil.

Nas modalidades T e SL os perfis de humidade obtidos foram praticamente iguais, na modalidade SP o teor de humidade era superior à profundidade de 30 cm.

Considerando que a informação recolhida com a primeira rega não era suficiente para concluir satisfatoriamente sobre a evolução do perfil de humidade, foram efectuadas leituras com a sonda capacitiva 24 e 48 horas após a terceira rega controlada, tendo-se obtido os seguintes perfis de humidade:

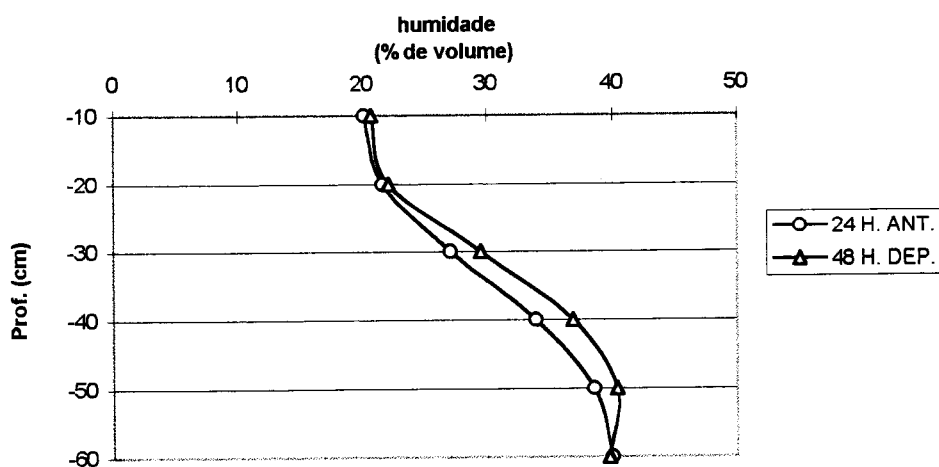


Fig. 18 - Perfis de humidade obtidos 24 horas antes e 48 horas após a terceira rega controlada na modalidade Testemunha.

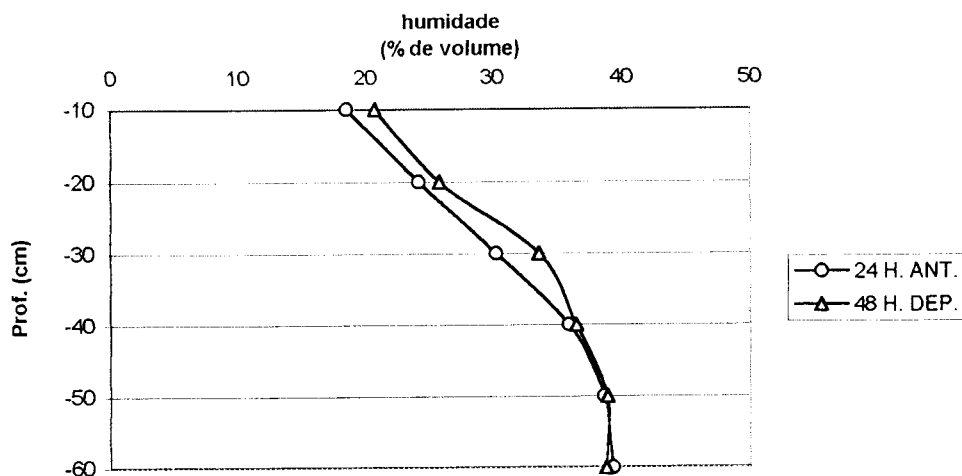


Fig. 19 - Perfis de humidade obtidos 24 horas antes e 48 horas após a terceira rega controlada na modalidade Subsolagem Ligeira.

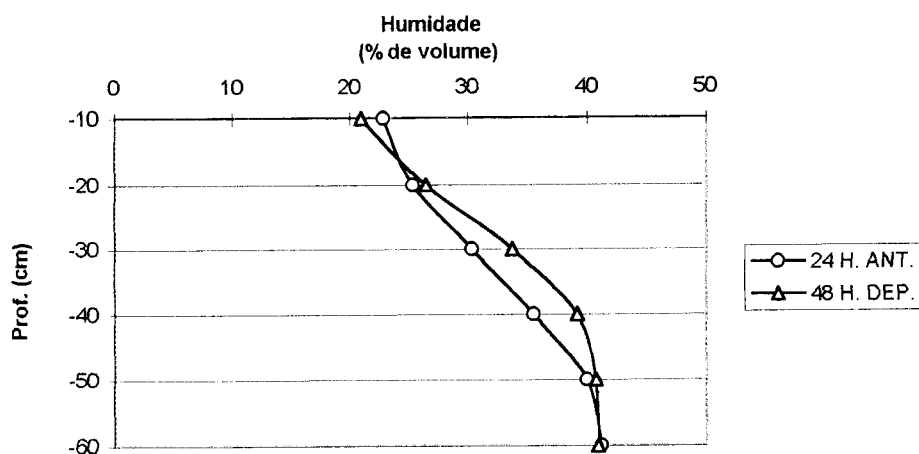


Fig. 20 - Perfis de humidade obtidos 24 horas antes e 48 horas após a terceira rega controlada na modalidade Subsolagem Profunda.

Se qualquer um destes perfis for comparado com os obtidos 24 horas após a primeira rega, constatar-se-á que, embora ligeiramente, o teor de humidade aumentou em profundidade. Isso é o resultado de ter havido um espaço de tempo maior para que se desse a redistribuição da água no perfil do solo.

A análise dos perfis de humidade permite verificar que não há uma diferença acentuada entre os perfis obtidos para cada uma das três modalidades. Os teores de humidade registados foram mais baixos na testemunha, no entanto, também já o eram antes da rega. A partir dos 20 cm de profundidade houve um aumento do teor de humidade em todas as modalidades, embora esse aumento tivesse sido mais sensível no terraço onde foi efectuada a subsolagem profunda.

Nos perfis hídricos obtidos nas modalidades T e SP até aos 15 cm de profundidade, verifica-se que o teor de humidade é inferior ao que o solo apresentava antes da rega. É que, 48 horas após a rega, já a evaporação “tinha levado” a água que a rega deixara à superfície.

Na modalidade SL a partir dos 40 cm e na modalidade SP abaixo dos 50 cm, o solo apresentava o mesmo teor de humidade 24 horas antes e 48 horas após a rega. A estas profundidades o solo encontrava-se provavelmente à capacidade de campo, não contribuindo para a alimentação hídrica da planta.

O facto de a sonda capacitiva ter avariado, problema que não se conseguiu ultrapassar em tempo oportuno, não permitiu que fossem efectuadas outras leituras enquanto decorreu o ensaio. No entanto, não se prescindiu de analisar os dados que ainda se conseguiram obter, pois embora a sua importância seja relativa, eles não deixam de a ter.

5.5. COMPORTAMENTO DA CULTURA

5.5.1. PARTE AÉREA

5.5.1.1. PRODUÇÃO DE GRÃO

Os dados relativos à produção de grão seco (kg/ha) obtida nas diferentes modalidades e locais, ao longo da linha, são apresentados no quadro 9.

MOD.	LINHA	PRODUTIVIDADE (kg/ha)			Produtividade média/mod (kg/ha)
		LOCAL 1	LOCAL 2	LOCAL 3	
TEST.	42	6344	10007	6727	
	43	12177	7805	9843	
	44	11591	11973	7709	
Média/local (kg/ha)		10037	9928	8093	9353
S. LIG.	83	10213	11879	6207	
	84	12083	13392	8784	
	85	11211	9252	6593	
Média/local (kg/ha)		11169	11507	7194	9957
S. PROF.	64	13639	13380	9679	
	65	14852	14487	9568	
	66	13432	13127	11432	
Média/local (kg/ha)		13974	13667	10226	12622

Quadro 9 - Produtividade de grão seco (kg/ha) obtida por amostragem em três linhas de cada modalidade e em três locais de cada linha.

A análise de variância pretendeu avaliar a validade das seguintes hipóteses:

a) Os efeitos do local de amostragem (1º factor) sobre a produção de grão são nulos.

- b) Os efeitos das operações de subsolagem (2º factor) sobre a produção são nulos.
- c) Não existe interacção entre o 1º e o 2º factor.

Os cálculos da ANOVA efectuados produziram o seguinte quadro resumo:

ORIGEM DA VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Local de amost.	61609713	2	30804856	10,4*
Modalidade	54615811	2	27307905	9,22*
Interacção	5832519	4	1458130	0,49
Erro	53305088	18	2961394	
Total	175363131	26		

- Valor Critico para a Distribuição de F (18,2) para um nível de 5% = 3,55

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 10 - ANOVA para os valores da produção de grão seco obtidos, para cada modalidade, em três locais diferentes nas linhas de cultura.

Da comparação entre os valores calculados para o teste F e a “tabela de valores críticos da distribuição F” resulta que se rejeita a primeira e a segunda hipótese formuladas e se aceita a terceira. Isto significa que, tanto as modalidades como o local de amostragem produziram efeitos significativos sobre a produção de grão, enquanto que da sua interacção não resulta qualquer efeito.

Assim, dada a existência de diferenças significativas, torna-se importante recorrer ao Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para averiguar a origem dessas diferenças.

MODALIDADE	SUB. LIGEIRA	SUB. PROFUNDA
TESTEMUNHA	5438	29461*
SUB. LIGEIRA		24023*

MDS calculada para um nível de significância de 5% = 19454

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 11- Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades.

A comparação entre os valores da tabela e os valores calculados para a MDS permite concluir, com uma probabilidade de pelo menos 95%, que a produção de grão na modalidade SP foi significativamente superior à das modalidades T e SL. Entre as modalidades T e SL não existiram diferenças significativas no que diz respeito a este parâmetro.

LOCAL DE AMOSTRAGEM	LOCAL 2	LOCAL 3
LOCAL 1	240	28959*
LOCAL 2		28719*

MDS calculada para um nível de significância de 5% = 19454

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 12 - Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para os locais de amostragem.

No que se refere ao local de amostragem, a comparação dos valores do quadro com a MDS indica que existem diferenças significativas quando se comparam os valores da produção obtidos no início, no meio e no final dos sulcos, locais 1, 2 e 3 respectivamente. Constata-se que não houve diferenças na produção entre o início e o meio dos sulcos. Verifica-se no entanto que a produção de grão foi significativamente menor na parte final dos sulcos amostrados.

A análise efectuada permite lançar alguma discussão acerca dos resultados obtidos.

Em relação à produção de grão, pode considerar-se que os resultados pretendidos com a operação de subsolagem foram alcançados, na medida em que se conseguiu obter uma produção significativamente superior. No entanto, isto só é possível se a mobilização compreender todo o horizonte B, pois só a mobilização profunda, efectuada com recurso ao subsolador vibrador, conduziu a ganhos significativos.

Os aumentos da produção poderão estar relacionados com o facto de a operação de subsolagem ter produzido zonas de fractura, ao nível do horizonte B, capazes de proporcionar uma melhoria nas condições de circulação do ar e da água no perfil do solo e de permitir um maior desenvolvimento do sistema radical da cultura em profundidade, ou seja, um maior volume de expansão radical.

A conjugação destes factores conduziu a um aumento da fertilidade potencial do solo que se traduziu no aumento da produção de grão.

No que se refere às diferenças na produção, que se provaram existir entre o início, meio e final das parcelas, pode considerar-se ser isso uma consequência da condução da rega. A produção mais baixa no final das parcelas pode significar que o volume de água que aí se infiltrou durante a rega não foi o suficiente. Esta constatação não pode, de forma alguma, pôr em causa a qualidade da rega efectuada. A boa gestão da água, como recurso escasso que é, passa por vezes por se sacrificar a produção na parte final das parcelas para que as perdas sejam mínimas, aumentando-se assim a eficiência de aplicação. Isto só é possível se não forem hipotecados os níveis de produtividade global das parcelas e que estes se mantenham a níveis satisfatórios, como parece ter-se conseguido neste ensaio.

A média da produção na modalidade SP foi de 12622 kg.ha⁻¹. A média nos locais 1 e 2 foi de 13820 kg.ha⁻¹, isto é, 1198 kg.ha⁻¹ a mais, que poderia ter sido acrescido à média, se

a rega tivesse sido abundante também no local 3. Discutível é se o custo acrescido que a rega teria era ou não coberto pelo valor de acréscimo de 1198 kg.ha⁻¹ de grão que se produziria.

5.5.1.2. PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Os valores que se encontram no Quadro 13 são relativos ao peso da biomassa seca da parte aérea (folhas + caules + carolos).

MOD.	LINHA	MATÉRIA SECA (kg/ha)			Prod. média/mod (kg/ha)
		LOCAL 1	LOCAL 2	LOCAL 3	
TEST.	42	5236	7336	5476	
	43	9117	6379	8197	
	44	8944	10732	6007	
Média/local (kg/ha)		7765	8149	6560	7492
S. LIG.	83	14607	14956	7609	
	84	13908	16893	11305	
	85	9608	10151	8713	
Média/local (kg/ha)		12707	14000	9209	11972
S. PROF.	64	12620	14113	8681	
	65	12408	11385	7749	
	66	11624	10641	7532	
Média/local (kg/ha)		12217	12046	7987	10751

Quadro 13 - Produção de biomassa seca da parte aérea (kg/ha), obtida por amostragem em três linhas de cada modalidade e em três locais de cada linha.

Tal como para a produção de grão seco, também para este parâmetro foi feita uma análise

de variância multifactorial, visto também aqui se considerar que tanto a modalidade como os locais de amostragem podem ser condicionantes.

ORIGEM DA VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Local de amost.	63686352	2	31843176	7,33*
Modalidade	96567057	2	48283528	11,12*
Interacção	11701243	4	2925311	0,67
Erro	78173073	18	4342949	
Total	250127724	26		

- Valor Critico para a Distribuição de F (18,2) para um nível de 5% = 3,55

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 14 - ANOVA para os valores da produção de biomassa seca da parte aérea obtidos, para cada modalidade, em três locais diferentes nas linhas de cultura.

A análise de variância indicou que tanto as modalidades como os locais de amostragem foram significativamente diferentes quanto à produção de matéria seca da parte aérea. Da interacção dos dois factores não resultaram quaisquer diferenças.

Assim para concluir sobre a origem das diferenças significativas, torna-se necessário recorrer ao Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé.

MODALIDADE	SUB. LIGEIRA	SUB. PROFUNDA
TESTEMUNHA	40326*	29329*
SUB. LIGEIRA		10997

MDS calculada para um nível de significância de 5% = 23559

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 15 - Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades.

LOCAL DE AMOSTRAGEM	LOCAL 2	LOCAL 3
LOCAL 1	4514	26803*
LOCAL 2		31317*

MDS calculada para um nível de significância de 5% = 23559

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 16 - Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para os locais de amostragem.

No que se refere às modalidades, pode concluir-se que houve diferenças significativas na produção de biomassa seca da parte aérea entre as modalidades T e SL e as modalidades T e SP. Não existiram contudo diferenças significativas entre as modalidades SP e SL.

Quanto ao local da amostragem, verifica-se que a origem das variações foi a mesma que foi encontrada para a produção de grão, isto é, não houve diferenças significativas entre o início e o meio das linhas (locais 1 e 2), tendo-se verificado contudo a sua existência entre o início e o final (locais 1 e 3) e o meio e o final das linhas (locais 2 e 3).

Ao contrário do que foi obtido para a produção de grão, a análise estatística do peso da biomassa seca da parte aérea, não confirmou que a subsolagem profunda promova, de forma significativa, o desenvolvimento vegetativo das plantas de modo a que isso se possa reflectir na produtividade. No entanto não se deve sobrevalorizar este aspecto, na medida em que, como já foi referido, o estudo foi efectuado com uma variedade cuja principal aptidão é a produção de grão. Admite-se também um erro na secagem da matéria seca, pois não houve oportunidade para repetir as pesagens.



No que diz respeito aos locais de amostragem a análise de variância, para este parâmetro, só veio confirmar as conclusões referidas para a produção de grão. Portanto, as plantas que desenvolveram o seu ciclo vegetativo no final das parcelas produziram um peso de biomassa da parte aérea significativamente menor do que as plantas do início e do meio das linhas. Este facto poderá, eventualmente, ser uma consequência das plantas do final das linhas terem crescido sujeitas a algum stress hídrico.

5.5.2. SISTEMA RADICAL

O estudo do efeito da subsolagem sobre o desenvolvimento do sistema radical da cultura, foi efectuado através do Método do Mini-rizotráo e do Método do Mapeamento das Raízes com recurso a um painel transparente.

5.5.2.1. MÉTODO DO MINI-RIZOTRÃO

Os resultados obtidos encontram-se no anexo 2, para facilidade de análise apresenta-se o gráfico seguinte.

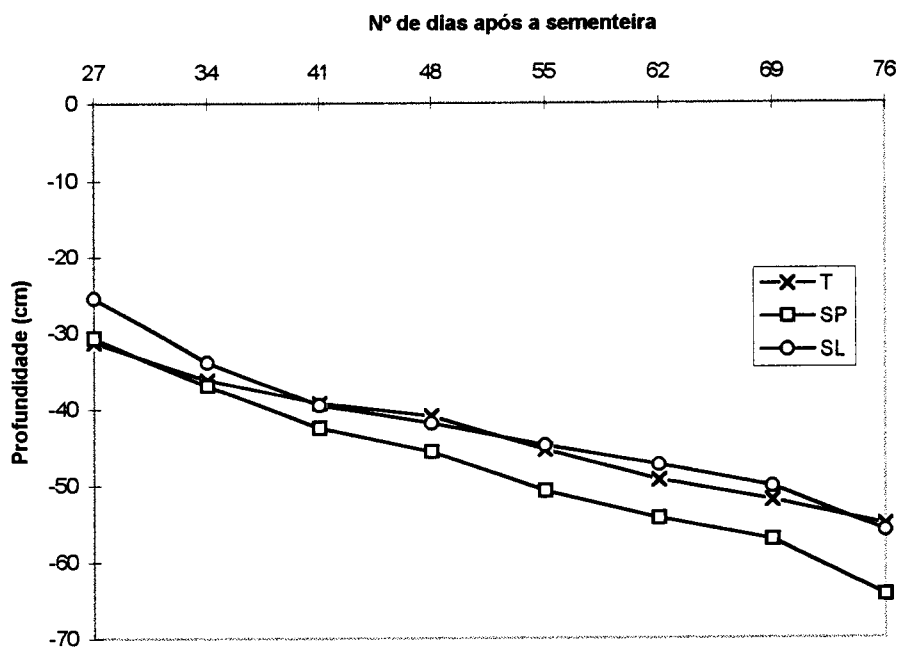


Fig. 21 - Evolução do aprofundamento radical nas três modalidades

A observação do gráfico permite realçar os seguintes aspectos:

- Até praticamente à terceira semana de observações, foi na modalidade Subsolagem Ligeira que o sistema radical do milho atingiu a menor profundidade.

- A partir da terceira semana de observações as raízes das plantas nas modalidades Subsolagem Ligeira e Testemunha, encontravam-se sensivelmente à mesma profundidade e, a partir daí, o crescimento foi muito semelhante nas duas modalidades.

- Cerca de 40 dias após a sementeira, altura em que as raízes do milho atingiram sensivelmente os 35 cm, portanto o horizonte B, a capacidade de aprofundamento radical passou a ser superior na modalidade Subsolagem Profunda, embora não se possa considerar que essas diferenças sejam muito significativas.

A maior evolução em profundidade das raízes verificada na modalidade Subsolagem Profunda, está certamente relacionada com o facto de a realização desta operação ter criado zonas de fractura que promoveram uma diminuição da impedância mecânica exercida pelo solo, facilitando assim o desenvolvimento do sistema radical da cultura.

Esta situação não se verificou na modalidade Subsolagem Ligeira, dado que a mobilização foi efectuada apenas a 45 cm de profundidade, numa altura em que o solo possuía alguma humidade, não se conseguindo desta forma obter as condições que facilitassem o aprofundamento radical. Os melhores resultados obtidos com a SP estão intimamente ligados ao facto de esta ter sido efectuada a maior profundidade, mas não se podem

dissociar de a alfaia utilizada ter sido um subsolador vibrador, o que permitiu uma maior intervenção sobre a macro-estrutura do solo.

5.5.2.2. MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO RADICAL EM PLANOS VERTICAIS

Como seria lícito esperar, o maior número de raízes finas ($\varnothing < 1\text{mm}$) mapeadas foi consideravelmente superior ao das restantes classes, tendo-se por isso neste relatório dedicado uma atenção especial a essa classe.

Assim, a intensidade radical relativa às raízes com diâmetro inferior a 1 mm permitiu elaborar o seguinte gráfico podendo através da sua análise realçar-se alguns aspectos:

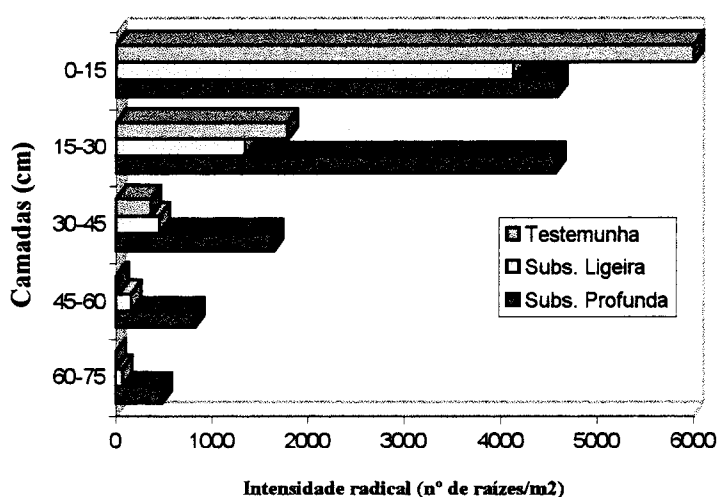


Fig. 22 - Intensidade radical (raízes com $\varnothing < 1\text{mm}$) ao longo do perfil, nas três modalidades.

- A intensidade radical foi bastante superior na modalidade SP, a partir dos 15 cm de profundidade.

- A intensidade radical decresce à medida que a profundidade aumenta em qualquer uma das modalidades. No entanto, essa redução é muito menos acentuada na modalidade SP. Nesta modalidade constata-se que a intensidade radical entre os 60 e os 75 cm foi, inclusivamente, maior do que a observada nas modalidades T e SL entre os 30 e os 45 cm. Este terá sido, aliás, o aspecto que mais contribuiu para o melhor comportamento da cultura na modalidade SP.

- Na testemunha as raízes concentraram-se sobretudo na camada mais superficial, entre os 0 e os 15 cm, verificando-se que aí o número de raízes finas presente foi superior ao das modalidades SP e SL.

Estas constatações permitem que sobre elas sejam tecidas algumas considerações, que poderão justificá-las.

Assim, o facto de tanto a intensidade radical total como o seu valor para as camadas inferiores do perfil ter sido superior na modalidade SP, vem confirmar que a operação de subsolagem, efectuada com recurso ao subsolador vibrador, criou condições no solo que facilitaram o desenvolvimento do sistema radical da cultura.

O facto de as raízes terem encontrado maior resistência do solo à sua penetração na modalidade T obrigou a que o seu sistema radical se desenvolvesse sobretudo ao nível do horizonte A, com todas as consequências que esta concentração de raízes à superfície acarreta para a cultura, nomeadamente, maior dependência da frequência das regas e de adubações mais elevadas.

Embora esta análise seja por si só elucidativa, optou-se por a completar com um estudo estatístico para que as conclusões a retirar sejam perfeitamente justificadas.

ORIGEM DA VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Camadas	47721059	4	11930265	16,23*
Modalidade	3633552	2	27307905	2,47
Erro	5877951	8	734744	
Total	57232563	14		

- Valor Critico para a Distribuição de F (8,2) para um nível de 5% = 4,46

- Valor Critico para a Distribuição de F (8,4) para um nível de 5% = 3,69

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 17 -ANOVA para os valores do número de raízes com diâmetro inferior a 1 mm obtidos para cada modalidade e para as cinco camadas consideradas.

Assim, a partir da análise de variância efectuada para as valores da intensidade radical observados no perfil vertical, verifica-se que existem diferenças significativas entre as camadas consideradas, pois o número de raízes finas mapeadas nas camadas superiores foi relativamente alto, decrescendo bastante em profundidade.

Constata-se contudo que não existem diferenças significativas entre as modalidades (T, SL e SP). Este facto é perfeitamente justificável na medida em que, na modalidade T, foram mapeadas um grande número de raízes finas nas primeiras duas camadas, portanto até 30 cm de profundidade, o que fez com que o número total de raízes mapeadas não seja significativamente diferente nas três modalidades.

Dado que na modalidade T as raízes não conseguiram penetrar através do perfil do solo devido à forte compactação, o sistema radical das plantas desenvolveu-se mais à superfície, observando-se aí uma intensidade radical bastante elevada.

Como foram encontradas diferenças significativas entre as camadas, foi efectuado o Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé.

CAMADAS (cm)	15-30	30-45	45-60	60-75
0-15	7013	12241*	13697*	14151*
15-30		5228	6684	7138
30-45			1456	1910
45-60				454

MDS calculada para um nível de significância de 5% = 8066

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 18 - Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as camadas.

O teste das comparações múltiplas revela que a existência das diferenças significativas é uma consequência de terem sido observadas um grande número de raízes finas na camada superior.

Não existem diferenças significativas entre a camada 0-15 cm e a camada 15-30 cm. No entanto, essas diferenças existem entre a camada 0-15 cm e as camadas 30-45 cm, 45-60 cm e 60-75 cm.

Não existem diferenças significativas dos valores da intensidade radical entre as camadas sub-superficiais.

Esta análise vem confirmar que as raízes se concentraram nos primeiros 30 cm do solo, portanto, ao nível do horizonte A.

Em relação às outras classes de diâmetro consideradas ($1 \text{ mm} < \varnothing < 2 \text{ mm}$; $2 \text{ mm} < \varnothing < 3 \text{ mm}$; $\varnothing > 3 \text{ mm}$), foram elaborados gráficos cuja análise permite ter uma noção da sua distribuição no perfil do solo nas três modalidades.

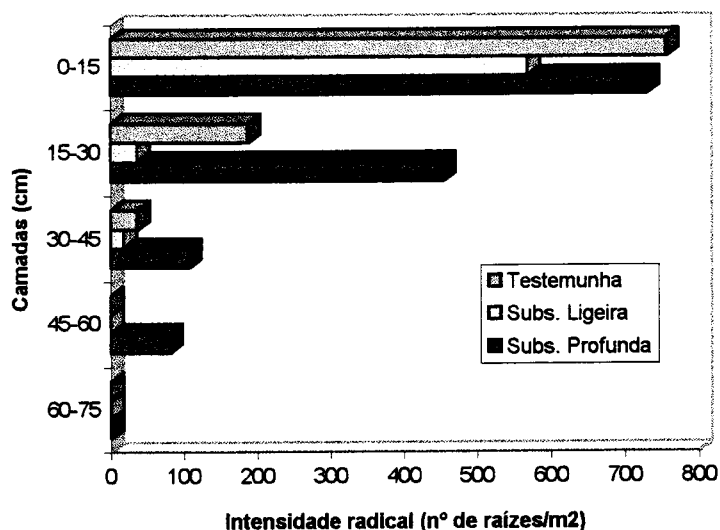


Fig. 23 - Intensidade radical ($1 \text{ mm} < \varnothing$ da raiz $< 2 \text{ mm}$) ao longo do perfil, nas três modalidades.

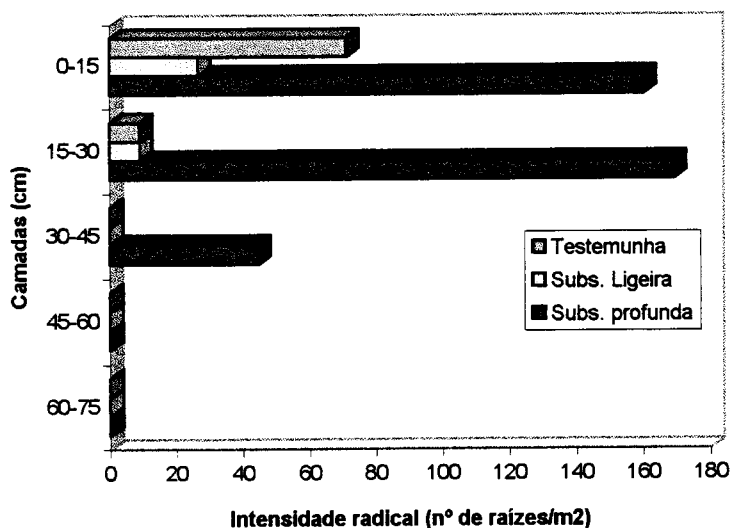


Fig. 24 - Intensidade radical ($2 \text{ mm} < \varnothing$ da raiz $< 3 \text{ mm}$) ao longo do perfil, nas três modalidades.

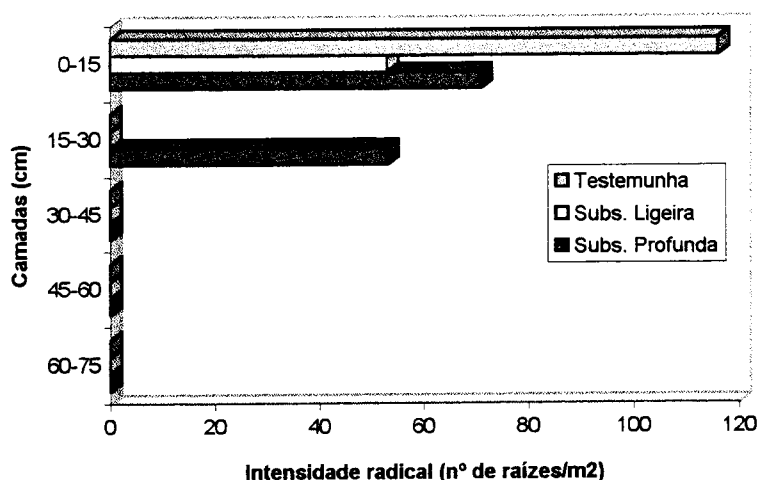
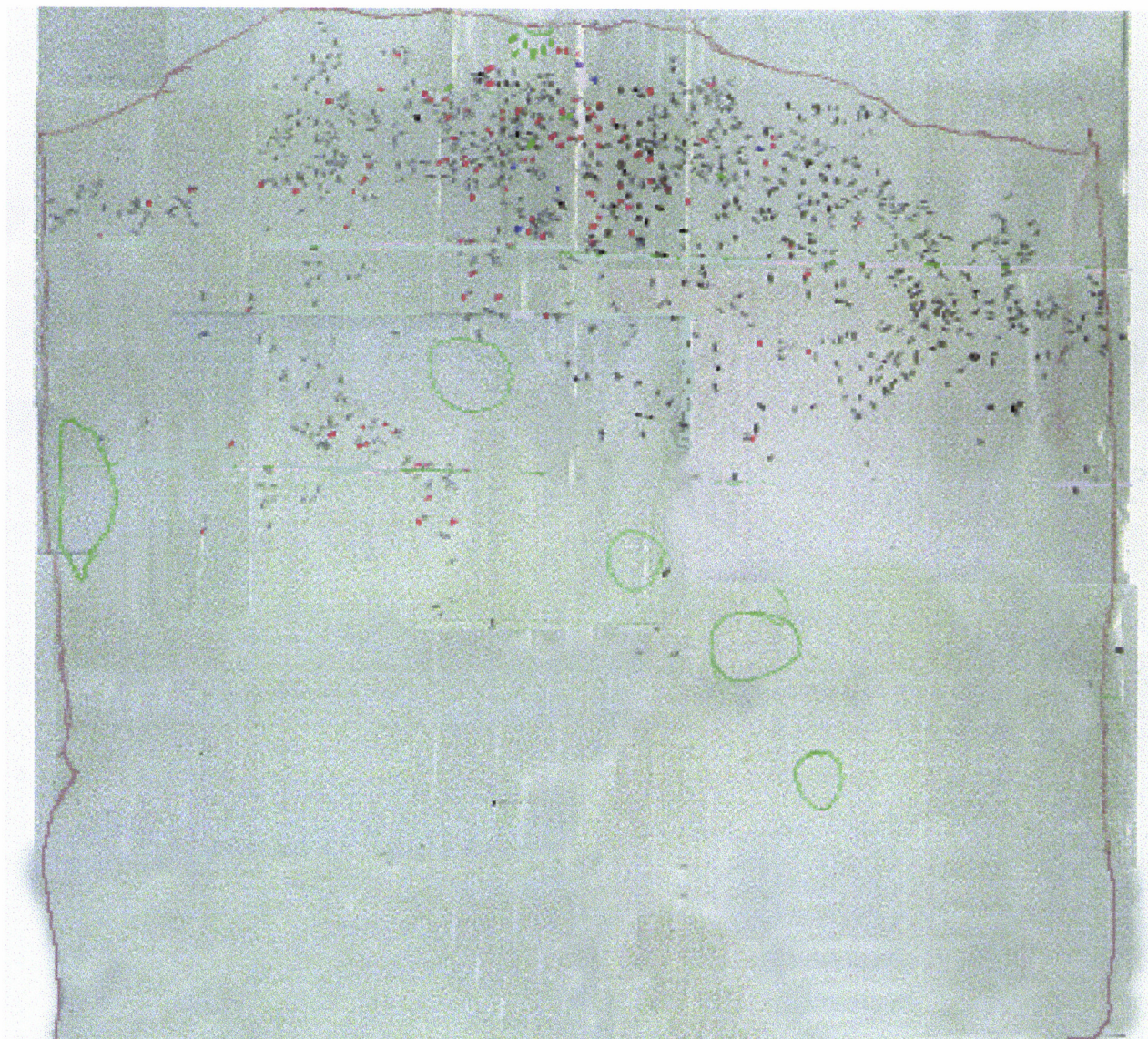


Fig. 25 - Intensidade radical (raízes com $\varnothing > 3$ mm) ao longo do perfil, nas três modalidades.

- O número de raízes mapeadas em qualquer das modalidades diminuiu com o aumento do seu diâmetro (ver escala das abcissas).
- Em qualquer das classes de diâmetro, a intensidade radical diminuiu com o aumento da profundidade.
- Na modalidade Subsolagem Profunda a intensidade radical para as classes com diâmetro superior a 1 mm foi substancialmente superior à das modalidades Subsolagem Ligeira e Testemunha.
- Foram muito poucas ou nenhuma as raízes com diâmetro superior a 1 mm que atingiram as camadas mais profundas. Só na modalidade SP algumas raízes penetraram mais profundamente.

Portanto, confirma-se o que já havia sido referido para as raízes finas, isto é, a operação de subsolagem profunda introduziu alterações no solo que facilitam o desenvolvimento do sistema radical da cultura.

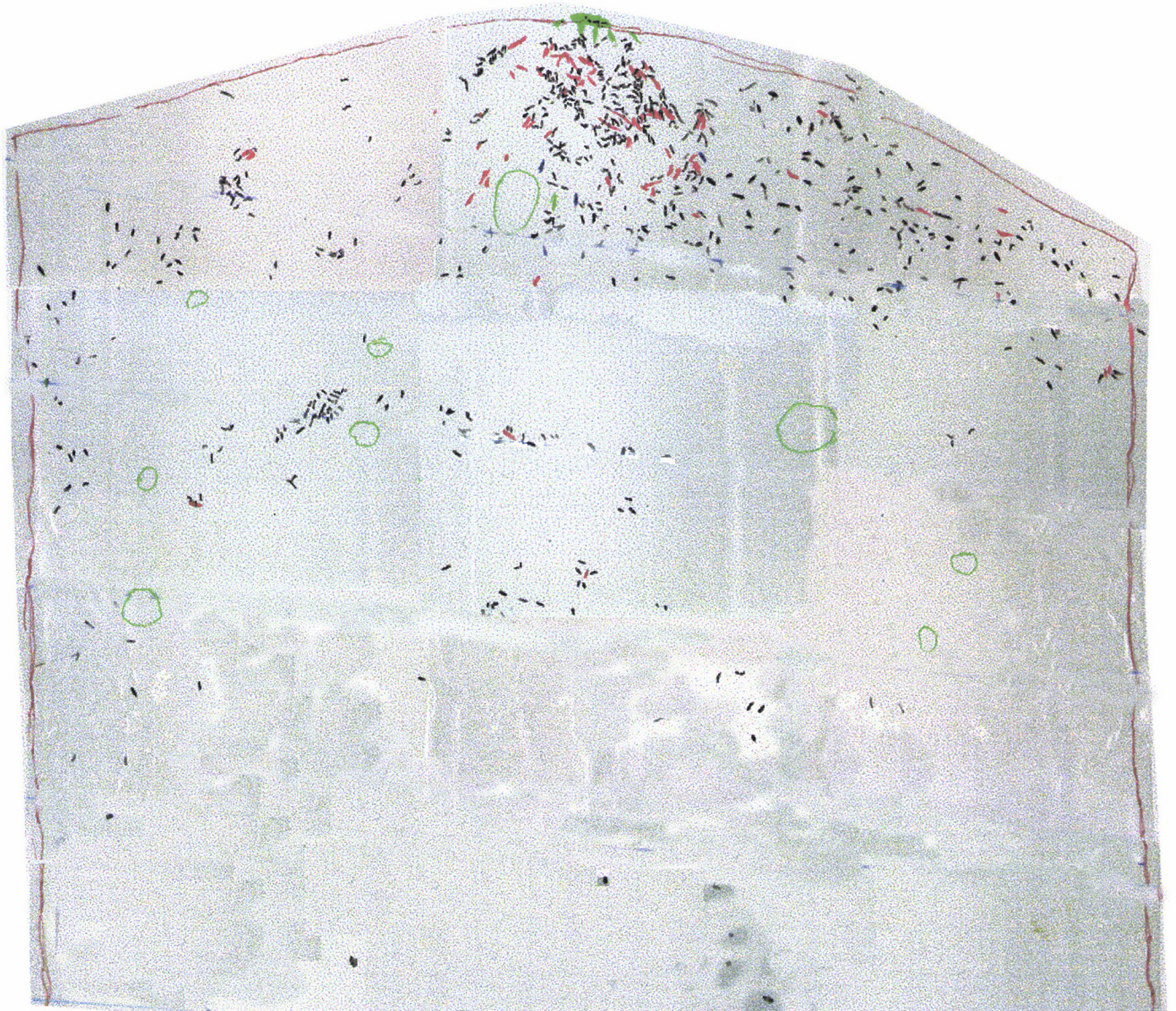
As figuras 26, 27 e 28 representam os painéis verticais obtidos por digitalização. Com a sua apresentação pretende-se evidenciar a distribuição radical nas três modalidades.



Escala 1:5

Fig. 26 - Imagem digitalizada do painel transparente obtido para a modalidade

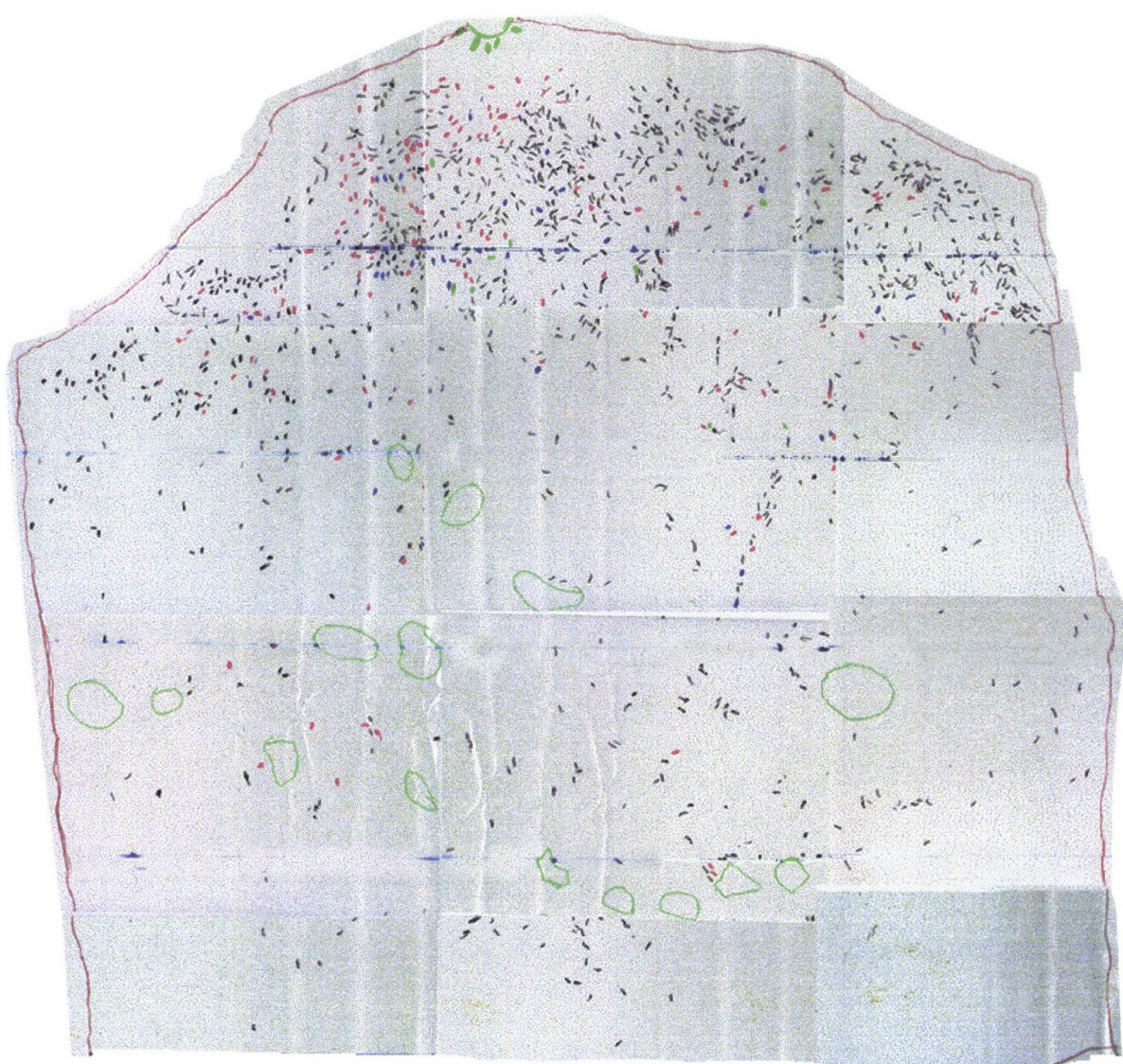
Testemunha



Escala 1:5

Fig. 27 - Imagem digitalizada do painel transparente obtido para a modalidade

Subsolagem Ligeira



Escala 1:5

Fig. 28 - Imagem digitalizada do painel transparente obtido para a modalidade
Subsolagem Profunda

5.5.2.3. INTENSIDADE RADICAL OBSERVADA EM PLANOS HORIZONTAIS

Pelas mesmas razões referidas para o estudo dos perfis verticais, a análise dos resultados da intensidade radical observada em planos horizontais, foi centrada sobre os valores obtidos para as raízes finas.

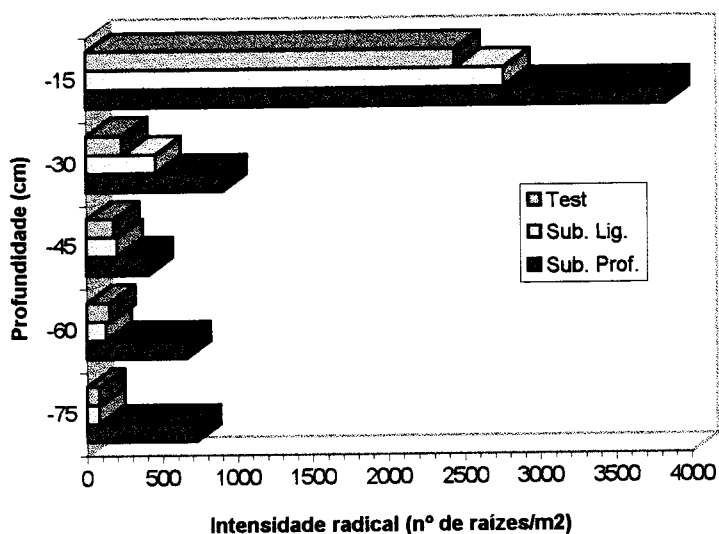


Fig. 29 - Intensidade radical (raízes com $\varnothing < 1$ mm) por modalidade e por plano horizontal.

A análise do gráfico da figura 29 permite verificar que foi mapeado um maior número de raízes finas nos planos superiores, o que confirma as observações efectuadas na análise dos perfis verticais.

No que se refere às modalidades, esse número foi sempre maior naquela onde se efectuou a subsolagem profunda (ao contrário do que se tinha observado na distribuição vertical, em que a testemunha era a modalidade em que a intensidade radical era maior na camada 0-15 cm).

ORIGEM DA VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
Planos	17106278	4	4276569	81,11*
Modalidade	1319279	2	659639	12,51*
Erro	421764	8	52720	
Total	18847321	14		

- Valor Critico para a Distribuição de F (8,2) para um nível de 5% = 4,46

- Valor Critico para a Distribuição de F (8,4) para um nível de 5% = 3,69

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 19 - ANOVA para os valores da intensidade radical (raízes com diâmetro inferior a 1 mm) obtidos para cada modalidade e para os planos horizontais considerados.

A análise estatística efectuada revelou a existência de diferenças significativas, entre as modalidades, para as raízes com diâmetro inferior a 1 mm.

Este resultado não confirma de forma alguma o que foi dito em relação aos perfis verticais, antes pelo contrário. A abertura dos perfis horizontais removeu a maior parte das raízes superficiais, que foram contadas na modalidade T, quando se procedeu ao estudo do perfil vertical. O baixo número de raízes mapeadas no plano superior, na modalidade T, conduziu a que a análise estatística revelasse a existência de diferenças significativas entre as modalidades.

Dada a existência de diferenças significativas, tanto para os planos como para as modalidades, foi efectuada o teste das comparações múltiplas afim de concluir sobre a origem dessas diferenças.

PLANOS (cm)	30	45	60	75
15	7440*	8251*	8063*	8147*
30		811	623	717
45			188	94
60				94

MDS calculada para um nível de significância de 5% = 2160

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 20 - Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para os planos.

Este teste revelou a existência de diferenças significativas entre os planos abertos a 15 cm de profundidade e os que foram abertos a 30 cm, 45 cm, 60 cm e 75 cm. Não existiram diferenças significativas entre os planos abertos a uma profundidade igual ou superior a 30 cm.

MODALIDADE	SUB. LIGEIRA	SUB. PROFUNDA
TESTEMUNHA	501	3366*
SUB. LIGEIRA		2865*

MDS calculada para um nível de significância de 5% = 2168

*- Quando presente indica a existência de diferenças significativas

Quadro 21 - Teste das Comparações Múltiplas de Scheffé para as modalidades.

No que se refere às modalidades regista-se o aparecimento de diferenças significativas entre as modalidades SP e T e as modalidades SP e SL. Tal é o resultado de terem sido mapeadas um número de raízes significativamente superior nos perfis abertos no terraço onde foi efectuada a subsolagem profunda.

5.6. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO

Com os resultados obtidos pela utilização do penetrômetro, em cada modalidade, foi calculada a média da resistência para cada profundidade, tendo-se posteriormente produzido as seguintes representações gráficas.

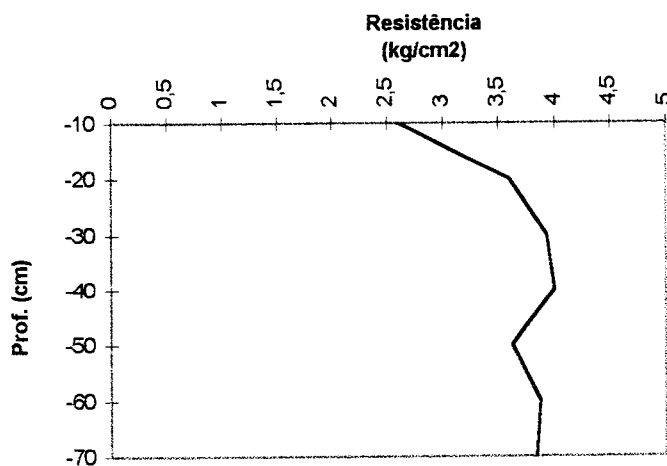


Fig. 30 - Resistência à penetração em profundidade na modalidade Testemunha.

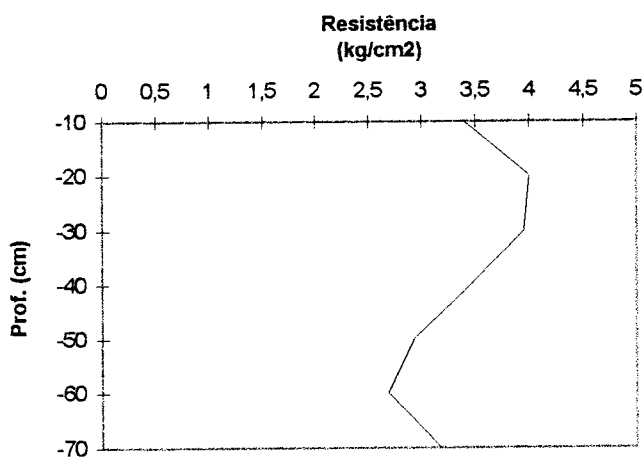


Fig. 31 - Resistência à penetração em profundidade na modalidade Subsolação Ligeira

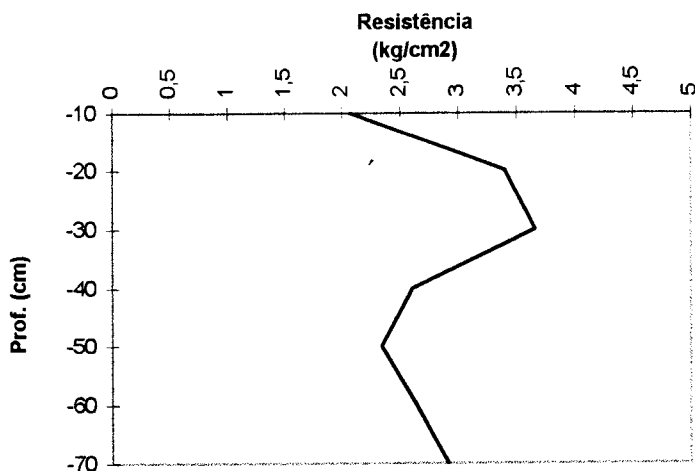


Fig. 32 - Resistência à penetração em profundidade na modalidade Subsolação Profunda

Assim, verifica-se que a forma das curvas é idêntica em qualquer uma das três modalidades. A resistência é menor à profundidade de 10 cm, portanto, no horizonte A. Tal deve-se ao facto de este horizonte possuir uma textura mais grosseira e uma estrutura mais leve.

Os maiores valores da resistência à penetração são encontrados entre os 20 e os 30 cm de profundidade, que corresponde à zona do perfil de maior compactação, portanto não se pode concluir que a esta é maior no horizonte argílico, uma vez que a descrição do perfil e a análise de outras características do solo indicam que o horizonte B se encontra a partir dos 35 cm aproximadamente. Assim este facto pode ser uma consequência da existência de um calo de lavoura, de compactação resultante das operações de regularização do terreno ou simplesmente uma zona mais dura porque mais seca (em relação às subjacentes). Estes valores diminuem entre os 35 cm e os 60 cm (com o aumento da humidade?) e aumentam ligeiramente abaixo desta profundidade.

Se forem comparados os valores da resistência à penetração com os da densidade aparente, constata-se que a sua evolução é praticamente igual ao longo do perfil do solo. Isto é, os valores obtidos com o penetrómetro são menores quando os da densidade aparente também o são, acontecendo o mesmo para os valores mais elevados.

Assim, tal como foi afirmado que a introdução das operações de subsolagem não produziram alterações detectáveis através da densidade aparente do solo, também se poderia afirmar que não produziram alteração que se reflectissem nos valores da resistência à penetração.

Parece contudo prematuro concluir que a subsolagem não afectou qualquer dos dois parâmetros, uma vez que houve efeitos notáveis sobre o desenvolvimento radical e correspondente comportamento da cultura.

Isto vem confirmar que, ao contrário do que se conseguiu apurar através da determinação da densidade aparente e da resistência à penetração, a subsolagem produziu um efeito de descompactação no horizonte B, proporcionando às plantas maior facilidade para o desenvolvimento do seu sistema radical e portanto da utilização da água e da fertilidade potencial do solo.

O facto de a determinação destes parâmetros não confirmar a acção de descompactação do solo produzida pelas operações de subsolagem pode ser explicado por estas observações serem pontuais, não sendo efectuadas sobre toda a zona mobilizada.

A subsolagem não eliminou toda a compactação do solo, no entanto criou zonas de fractura que, não sendo facilmente detectáveis através da avaliação da densidade aparente e da resistência à penetração, existiram de facto, como pode ser provado através da análise do sistema radical da cultura.

5.7. AVALIAÇÃO DA REGA

A avaliação da rega foi efectuada *à posteriori* com recurso ao programa ANREGA desenvolvido por Serralheiro (1988).

Este programa não prevê a redução contínua de caudais própria do sistema cabo-rega, que foi praticado no campo de ensaios. Para que fosse possível utilizar o ANREGA na determinação da equação da infiltração pelo método de Elliott e Walker, estabeleceu-se que o caudal permanente equivalente seria aquele que se verificava quando havia sido fornecido ao sulco metade do volume total de água que nele entrou durante a fase de avanço.

Procedeu-se à avaliação de 4 regas (já que noutras regas controladas no campo houve problemas de vária ordem enquanto estas decorriam), tendo sido para isso determinado, em cada um dos sulcos controlados, os parâmetros da equação de infiltração de Kostiakov corrigida pelo balanço volumétrico, o coeficiente de uniformidade de Christiansen (C.U.) e a eficiência de aplicação (ea).

O cálculo dos parâmetro de avaliação da rega foi efectuado, para cada rega em cada sulco controlado, a partir da dotação média no quartil inferior ($\bar{D}qi$). Assim, o valor da eficiência de aplicação torna-se igual ao da uniformidade de distribuição (UD), pois a $\bar{D}qi$ é igual à dotação útil (Du) e as expressões:

$$ea = \frac{Du}{\bar{D}}$$

$$UD = \frac{\bar{D}qi}{\bar{D}}$$

em que \bar{D} é a dotação média no sulco, são equivalentes.

		Eq. da Inf.		Volumes				$\bar{D}qi$ (mm)	Par. avaliação		
Mod./ Sulco	Q_0 (l/s)	k	a	Va (l)	Vi (l)	Vp (l)	Vf (l)		C.U.	ea=UD	
T	42	2,75	8,454	0,37	9229	6581	402	2648	22,9	0,93	0,67
	43		2,019	0,729	9064	6299	719	2765	20,7	0,90	0,62
SL	83		2,024	0,7	13184	9662	367	3522	28,1	0,94	0,71
	84		3,305	0,595	12854	9854	174	3000	29,3	0,95	0,75
	85		4,998	0,479	12524	8844	264	3680	26,0	0,95	0,69
SP	64		2,763	0,653	24884	18772	963	6111	45,6	0,94	0,72
	65		9,976	0,389	22247	17195	555	5052	42,6	0,95	0,75
	66		20,751	0,248	20270	17432	533	2837	43,3	0,95	0,83

Quadro 22 - Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação obtidos para a 3ª rega controlada, realizada em 23/07/97.

		Eq. da Inf.		Volumes				$\bar{D}qi$ (mm)	Par. avaliação		
Mod./ Sulco	Q_0 (l/s)	k	a	Va (l)	Vi (l)	Vp (l)	Vf (l)		C.U.	ea=UD	
T	42	1,68	0,548	0,929	6552	4848	168	1704	17,3	0,94	0,71
	43		1,749	0,659	6653	5039	179	1614	18,0	0,94	0,73
SL	83		3,669	0,516	11088	8832	362	2256	25,6	0,94	0,76
	84		5,838	0,400	10685	8093	228	2592	23,8	0,94	0,74
	85		16,759	0,146	10282	7207	56	3076	21,7	0,95	0,70
SP	64		3,239	0,557	11995	11143	1458	852	24,8	0,91	0,81
	65		28,971	0,047	11189	9314	40	1875	23,7	0,96	0,83
	66		8,788	0,331	11088	10237	682	851	24,5	0,94	0,86

Quadro 23 - Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação obtidos para a 4ª rega controlada, realizada em 29/07/97.

		Eq. da Inf.		Volumes				$\bar{D}qi$ (mm)	Par. avaliação		
Mod./ Sulco	Q_0 (l/s)	k	a	Va (l)	Vi (l)	Vp (l)	Vf (l)		C.U.	ea=UD	
T	42	1,03	5,023	0,374	6886	5234	104	1652	19,0	0,94	0,74
	43		0,821	0,774	6886	5561	400	1325	19,1	0,92	0,75
SL	83		2,969	0,468	7569	5903	477	1665	16,4	0,92	0,72
	84		7,115	0,281	7631	6013	74	1617	18,0	0,95	0,78
	85		3,493	0,420	7755	5816	168	1940	17,1	0,95	0,73
SP	64		7,315	0,285	10299	7974	173	2326	20,0	0,95	0,76
	65		19,829	0,122	10299	9364	265	934	23,3	0,95	0,88
	66		10,325	0,245	10299	9041	331	1258	22,3	0,94	0,85

Quadro 24 - Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação obtidos para a 5ª rega controlada, realizada em 06/08/97.

		Eq. da Inf.		Volumes				$\bar{D}qi$ (mm)	Par. avaliação		
Mod./ Sulco	Q_0 (l/s)	k	a	Va (l)	Vi (l)	Vp (l)	Vf (l)		C.U.	ea=UD	
T	42	1,03	1,879	0,600	7755	6008	248	1747	21,3	0,93	0,74
	43		1,824	0,598	7631	5686	345	1945	19,8	0,92	0,70
SL	83		3,650	0,439	8251	6492	478	1758	18,2	0,92	0,73
	84		6,907	0,330	8065	7227	408	837	20,7	0,94	0,85
	85		6,152	0,332	7817	6420	405	1397	18,2	0,93	0,77
SP	64		5,866	0,400	10981	10528	1948	453	22,0	0,88	0,78
	65		19,372	0,132	11105	9695	75	1410	24,7	0,95	0,87
	66		14,201	0,205	11043	10182	562	861	24,7	0,94	0,87

Quadro 25 - Parâmetros da equação de Kostiakov, volumes e parâmetros de avaliação obtidos para a 7ª rega controlada, realizada em 19/08/97.

A análise dos resultados que se apresentam nos quadros 22 a 25 permite realçar os seguintes aspectos:

- O coeficiente de uniformidade de Christiansen apresentou sempre valores muito altos, o que revela uma boa uniformidade da rega praticada no campo de ensaios. Em 68,75% dos sulcos/regas controlados constata-se que o valor deste coeficiente foi igual ou superior a 0,94. Apenas por uma vez se registou um valor inferior a 0,9.

Em relação ainda a este parâmetro de avaliação, não se verifica a existência de diferenças entre a modalidade Testemunha e as modalidades subsoladas.

- A eficiência de aplicação apresenta valores que se podem considerar bastante bons para o método de rega por sulcos. Na maioria dos sulcos e das regas controladas, a eficiência de aplicação foi superior a 0,7 em qualquer uma das três modalidades.

No entanto, este parâmetro de avaliação demonstra que houve diferenças entre a modalidade Subsolação Profunda e as modalidades Testemunha e Subsolação Ligeira. Na maior parte dos sulcos observados, a eficiência de aplicação foi maior na modalidade SP, muitas vezes com valores superiores a 0,8 em alguns casos próximo de 0,9. Os valores obtidos para as modalidades T e SL foram semelhantes, embora se possa considerar que a eficiência de aplicação foi um pouco superior na maioria dos sulcos do terraço em que foi efectuada a subsolação ligeira.

O facto de se terem obtido valores bastante altos para os parâmetros de avaliação da rega é consequência da redução de caudais que se praticou no campo de ensaios durante a

rega. Isso permitiu reduzir as perdas de água no final das parcelas, pois esta redução acompanha a diminuição da infiltrabilidade do solo enquanto decorre a rega.

Outro aspecto que é importante realçar prende-se com o aumento da eficiência de aplicação, em qualquer das três modalidades, com a redução do módulo parcelar, pois desta forma reduziu-se o volume de água perdido no final das parcelas.

Com a redução do módulo parcelar, da 3ª para a 5ª rega controlada, deu-se uma diminuição (embora ligeira) do valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen, como resultado do avanço da água nos sulcos ser mais lento e portanto a água demorar mais tempo a chegar à parte final dos sulcos reduzindo-se aí o tempo de infiltração.

Em qualquer uma das regas pode constatar-se que nos sulcos da modalidade SP a dotação média no quartil inferior foi maior. Isso conduziu a aumentos de eficiência (nomeadamente da eficiência de aplicação) maiores no terraço onde foi efectuada a subsolagem profunda, como resultado de a operação proporcionar uma melhoria nítida no processo da infiltração.

Os gráficos seguintes referem-se às curvas de distribuição da água infiltrada ao longo de cada um dos sulcos controlados.

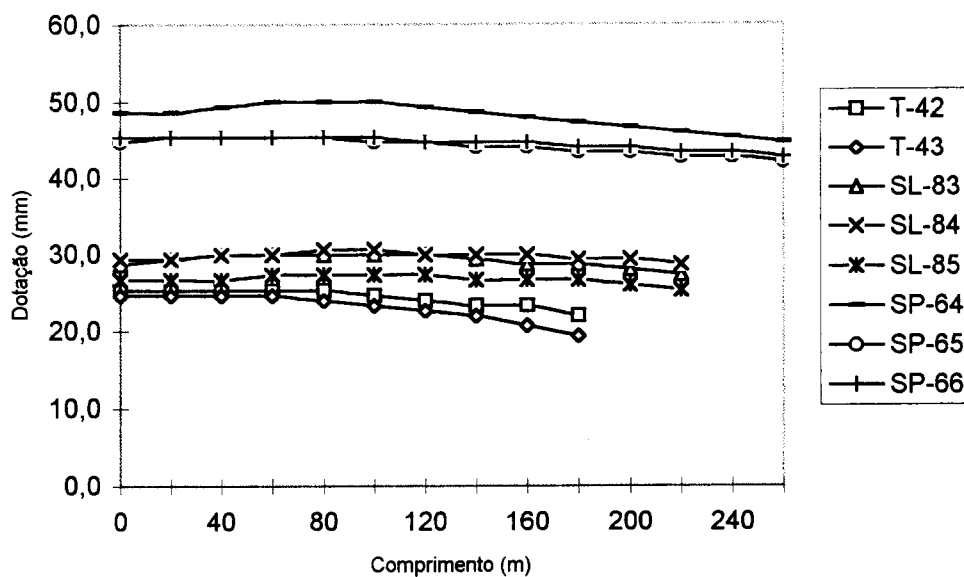


Fig. 33 - Curva de distribuição da água infiltrada para a 3ª rega controlada realizada em 23/07/97.

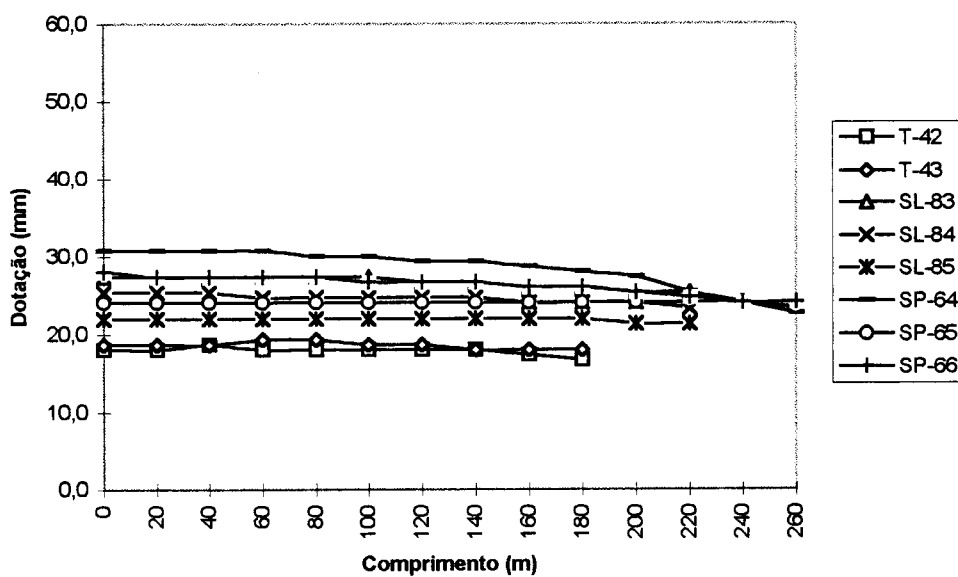


Fig. 34- Curva de distribuição da água infiltrada para a 4ª rega controlada realizada em 29/07/97.

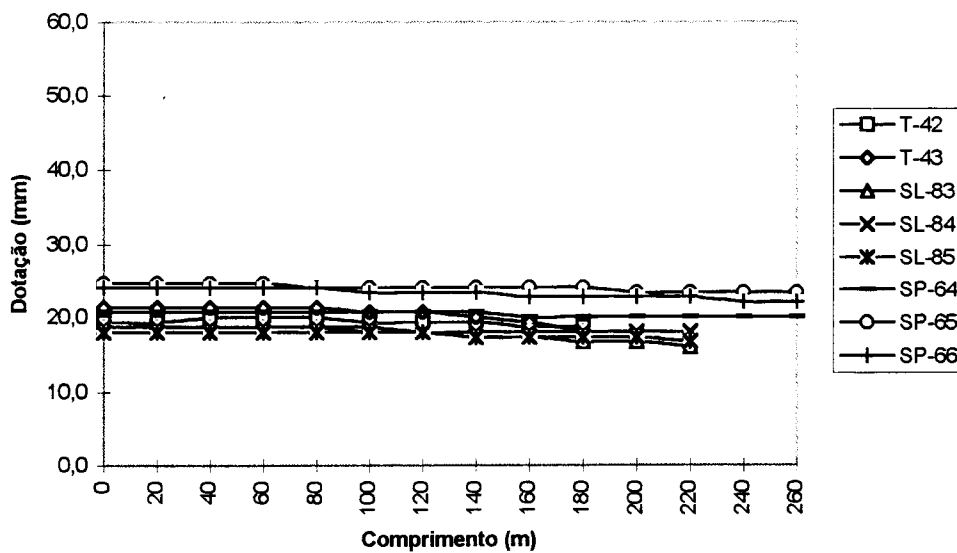


Fig. 35 - Curva de distribuição da água infiltrada para a 5ª rega controlada realizada em 06/08/97.

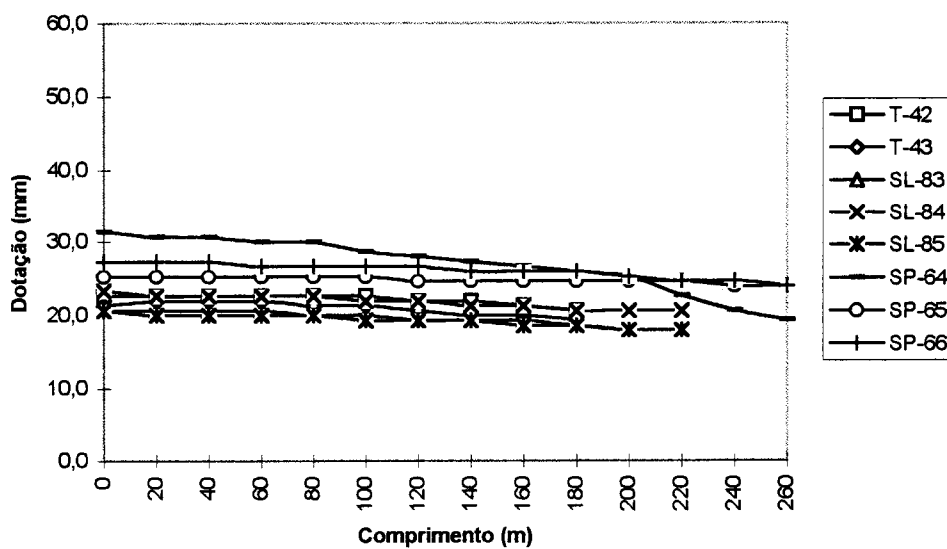


Fig. 36 - Curva de distribuição da água infiltrada para a 7ª rega controlada realizada em 19/08/97.

A sua análise permite realçar alguns aspectos fundamentais para as conclusões deste estudo.

- Verifica-se que as dotações foram bastante baixas. No entanto, é preciso ter em atenção que no campo de ensaios, nos meses de Julho e Agosto, foram efectuadas duas regas semanais. Esta foi uma das formas encontradas para tentar fazer uma melhor gestão da água, satisfazendo as necessidades hídricas da cultura.

- As dotações praticadas na modalidade Subsolagem Profunda foram normalmente maiores. Este facto por si só pode explicar os aumentos da produção nesta modalidade. No entanto, nada do que se disse em relação a outros aspectos pode ser posto em causa, uma vez que as maiores dotações são uma consequência da melhoria introduzida no processo de infiltração pela operação de subsolagem.

- Na maioria dos sulcos/regas houve uma redução da dotação na parte final dos sulcos. Tal facto conduziu a que a produção de milho fosse mais baixa na parte final das parcelas.

Capítulo 6

Conclusões e recomendações

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Alguns dos parâmetros estudados, tal como a densidade aparente, a resistência à penetração e as curvas de humidade-tensão, não fornecem indicações sobre possíveis alterações produzidas no solo como consequência da realização das operações de subsolagem. Isso pode estar relacionado com o facto de as observações terem sido feitas de forma discreta, não se avaliando toda a superfície do solo e não sendo desta forma detectadas as zonas de fractura que, como confirmam outros parâmetros medidos, foram produzidas.

Das operações de subsolagem efectuadas no ensaio, foi sem dúvida no terraço onde se efectuou a subsolagem a maior profundidade, mobilizando todo o horizonte B, que se conseguiram criar diferenças significativas em alguns dos parâmetros estudados.

No que se refere à condutividade hidráulica, não foram produzidas alterações ao nível do horizonte A. No entanto, as operações de subsolagem e particularmente a subsolagem profunda proporcionaram um aumento acentuado deste parâmetro no horizonte B. Tal facto traduziu-se pela maior facilidade de penetração da água neste horizonte reduzindo-se desta forma a possibilidade de formação de toalhas freáticas suspensas, melhorando o processo de infiltração e aumentando a quantidade de água disponível para as plantas, em profundidade.

Com esta operação também se conseguiu aumentar a intensidade radical em profundidade. As zonas de menor resistência encontradas pelas raízes permitiram-lhes chegar em maior quantidade a profundidades superiores. Este facto possibilitou às plantas explorar um

volume de solo maior, aumentando-se desta forma a fertilidade potencial do solo e permitindo-lhe retirar maior proveito da água e dos nutrientes aí presentes e/ou fornecidos através da rega e das adubações.

Também se constatou que, apesar de o sistema de cabo-rega permitir obter valores bastante bons dos parâmetros de avaliação da rega, no terraço onde se efectuou a subsolagem profunda conseguiu-se melhorar a eficiência de aplicação. Foram reduzidas as perdas de água no final dos sulcos como resultado de se ter conseguido uma melhoria no processo de infiltração, tornando-se mais fácil à água penetrar no solo.

Os resultados obtidos com os parâmetros de avaliação de rega vem demonstrar que a rega por sulcos continua a ser uma boa alternativa, que é necessário ter em conta, sobretudo se for bem conduzida.

Os factos mencionados proporcionaram a obtenção de um aumento da produção de grão bastante significativo no terraço onde foi efectuada a subsolagem profunda com recurso ao subsolador vibrador.

Verificou-se que existiram diferenças na produção de grão seco e de biomassa no início, meio e final das linhas de cultura. Os seus valores foram mais baixos no final das parcelas como consequência de a rega aí ter sido insuficiente, pois as dotações de rega foram menores na parte final dos sulcos.

O aspecto da produção é sem dúvida o mais importante para o agricultor e que por isso importa realçar, pois os trabalhos de investigação só fazem sentido se conseguirem produzir uma informação sustentada e segura no âmbito em que se inserem, podendo

dessa forma contribuir para a implementação de novas técnicas ou sugerindo novas práticas rumo a uma agricultura de maior sucesso.

A introdução de uma operação de subsolagem no esquema de mobilizações habitualmente praticado em solos argiluvitados pode ser, sem dúvida, essencial para retirar deste tipo de solos todos os dividendos possíveis e nomeadamente aumentar a produção, pelo menos na cultura do milho de regadio.

Embora a subsolagem seja uma operação que requer uma grande força de tracção e que por isso não seja fácil de implementar na maioria das explorações agrícolas, não se crê que seja uma operação que aumente significativamente os custos relativamente à mobilização tradicional, pois ela poderá, em larga medida, ser efectuada em vez das tradicionais lavouras.

Refira-se ainda que este estudo deverá ser a base para trabalhos de investigação posteriores. É importante conhecer por quanto tempo permanecem no solo as alterações produzidas pela realização de operações de mobilização profunda que visem mobilizar todo o horizonte B. Será apenas no ano em que é realizada? Ou será por dois ou mais anos? A economia da operação será aspecto decisivo na sua viabilidade.

Além da confirmação que os resultados dos parâmetros estudados neste trabalho carecem, há outros aspectos que devem merecer uma atenção especial. Assim, recomenda-se que futuramente se tente conhecer a melhor época e o teor de humidade mais conveniente para a realização de operações de subsolagem ou de outros trabalhos de drenagem; determinar se a realização de uma mobilização menos profunda, com o subsolador vibrador, é suficiente para resolver os problemas dos solos argiluvitados; integrar as operações de subsolagem num esquema de mobilizações mínimas (sementeira directa); conhecer de

forma mais aprofundada e sustentada as condições responsáveis pela melhoria dos processos de drenagem interna e redistribuição nestes solos bem como a evolução do perfil de humidade ao longo de uma época de rega; através de um estudo económico, avaliar a rentabilidade deste tipo de operações e determinar se, quer em rega quer em condições de Inverno, será ou não desejável promover a movimentação da água do interior do solo para fora, mediante órgãos de drenagem de profundidade ou sub-superficial, começando por se considerar uma rede de “drenos toupeira”.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

Aguiã, M. F. N. - *Controlo do perfil hídrico do solo e do enraizamento mediante operações de tecnologia do solo e da água*. Trabalho de fim de curso, Universidade de Évora, Évora, 1994.

Arkin, G. F.; Taylor, H. M. - *Modifying the root environment to reduce crop stress*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, U.S.A., p. 21-57, 1981.

Bengough, A. G.; *The penetrometer in relation to mechanical resistance to root growth in soil analysis*. Physical methods, New York, 1991.

Bless, H. G.- *Deep-loosening of Brown Mediterranean soils in the Évora-district/South Portugal in Resultados dos projectos de investigação agrária, cooperação Luso-Alemã entre universidades no domínio da investigação agrária aplicada*. Vila Real, 1989.

Bohm, W. - *Methods of Studing Root Systems*. Ecological Studies, Vol. 33, Springer-Verlag berlin Heidelberg, New York, 1979.

Botelho da Costa, J. V. - *Caracterização e Constituição do Solo*. 3ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1966.

Buol, S. W.; Hole, F. D. and McCracken, R. J. - *Soil Genesis and Classification*. 2ª edição, Ames, The Iowa University Press, U.S.A, 1980.

Carter-Brown, D. H. - *Official Test Reports: Tine Implements*. Division of Agricultural Engineering, Department of Agricultural Technical Services, Transvaal, Republic of South Africa, 23 pp, 1975. Citado por Arkin e Taylor, 1981.

Carvalho Cardoso, J. - *Os Solos de Portugal, sua Classificação, Caracterização e Génese*. S. E. Agricultura, D. G. Serviços Agrícolas, Lisboa, 1965.

Donahue, R. L.; Shickluna, J. C.; Robertson, L. S. - *Soils - An introduction to soils and plant*. Prentice-Hall, Inc., U.S.A., 1971.

Dubrovskii, A. A. - *Vibration engineering in agriculture*. Published for the USDA ARS and Nacional Science Foundation, Washington, DC by the Indian National Scientific Documentation Centre, New Delhi, 1968. Citado por Arkin e Taylor, 1981.

Duchaufour, P. - *Atlas Ecologique des Sols du Monde*. Paris, Masson, 1976.

Elliott R. L.; Walker W. R. - *Field Evaluation of Furrow Infiltration and advance*. Trans. of the ASAE, 25(2):396-400. 1982.

Hendrick, J. G. - *An annotated Bibliography on vibratory soil dynamics (1969-1979)*. National Tillage Machinery Laboratory, USDA. Auburn, AL. 57. 1979. Citado por Arkin e Taylor, 1981.

Kemprath, E. J.; Cassel, D. K.; Gross, H. D.; Dibb, D. W. - *Tillage effects on biomass production and moisture by soybeans on coastal plain soils*. J. Agron., 71:1001-1005. 1979.

Machado, R. M. A. - *Efeitos da Drenagem e subsolagem na produção de trigo e da forragem (Aveia+Vicia)*. Trabalho de fim de curso, Universidade de Évora, Évora, 1989.

Pinto Ricardo, R. - *Génese e evolução dos solos*. ISA, Lisboa, 1970.

Porro, I.; Cassel; D. K. - *Response of corn to tillage and delayed irrigation*. Agron. J., 1986, p. 688-693, Citado por Aguiã, 1994.

Reichardt, K. - *A água na produção agrícola*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, Brasil, 1978.

Robinson, G. W. - *Soils. Their Origin, Constitution and Classification*. 2ª edição, Thomas Murby & CO., London, 1932.

Russel, R. S. - *Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil*. McGraw-Hill Book Company, U.K., 1977.

Santos, C. A. - *Estudo da subsolagem e drenagem toupeira nas condições hidropedológicas dum solo argiluvado regado por sulcos*. Trabalho de fim de curso, Universidade de Évora, Évora, 1995.

Santos Júnior, A. G. - *Movimento da água no solo*. Universidade de Évora, Évora, 1987.

Serralheiro, R. P. - *Um Estudo da Rega por Sulcos nom Solo Argiluvado*. Dissertação de Doutoramento apresentada na Universidade de Évora, Évora, 1988.

Serralheiro, R. P. - *Furrow irrigation advance and infiltration equation for a mediterranean soil*. J. agricultural Engineering Research, 62:117-126. 1995.

Serralheiro, R.P.; Oliveira, M.R. - *Furrow irrigation on a subsoiled brown mediterranean soil: water balance and root growth*. Relatório Nº 94-A-022, apresentado a AGENG'94, Milão, 1994.

Shahidian, S. - *Desenvolvimento, por automatização, dum sistema da Cabo-Rega*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Solo e da Água, Universidade de Évora, Évora, 1996.

Spoor, G.; Godwin R. J. - *An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines*. J. Agric. Engineering Res., 23: 243-258, 1978. Citados por Arkin e Taylor, 1981.

Tardieu, F. - *Étude au champ de L'enracinement du maïs*. Thèse Docteur Ingenieur; Institute Nacional Agronomique; Paris-Grignon; 1984

Vepraskas, M. J. ; Miner, G. S. - *Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth*. Soil Sci. Soc. Am. J., 50, p. 423-427. 1986.

Wild, A. - *Russell's soil conditions & plant growth*. New York, Longman Scientific & Technical, 1988.

Wilding, L.P.; Smeck N.E. and Hall G.F. - *Pedogenesis and Soil Taxonomy*. Developments in Soil Science 11 B, 1ª edição, Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V., 1983.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ricardo Paulo Serralheiro pela preciosa orientação, disponibilidade e acessibilidade que sempre demonstrou, apesar dos seus inúmeros compromissos.

À Prof. Maria do Rosário Oliveira pela preciosa orientação que prestou no âmbito do estudo do sistema radical da cultura.

À Fundação Para a Ciência e Tecnologia pela Bolsa que me atribuiu no âmbito do Programa PRAXIS XXI, que possibilitou a dedicação exclusiva a este Mestrado.

Ao prof. Paulo Infante pela colaboração que prestou na análise estatística dos resultados.

Ao Prof. Francisco Lúcio Santos pela disponibilidade e acessibilidade que sempre demonstrou quando solicitado a dar algum conselho.

Ao senhor Freixa, um agradecimento muito especial, pela forma pronta como sempre se predispôs a ajudar naquilo que era necessário.

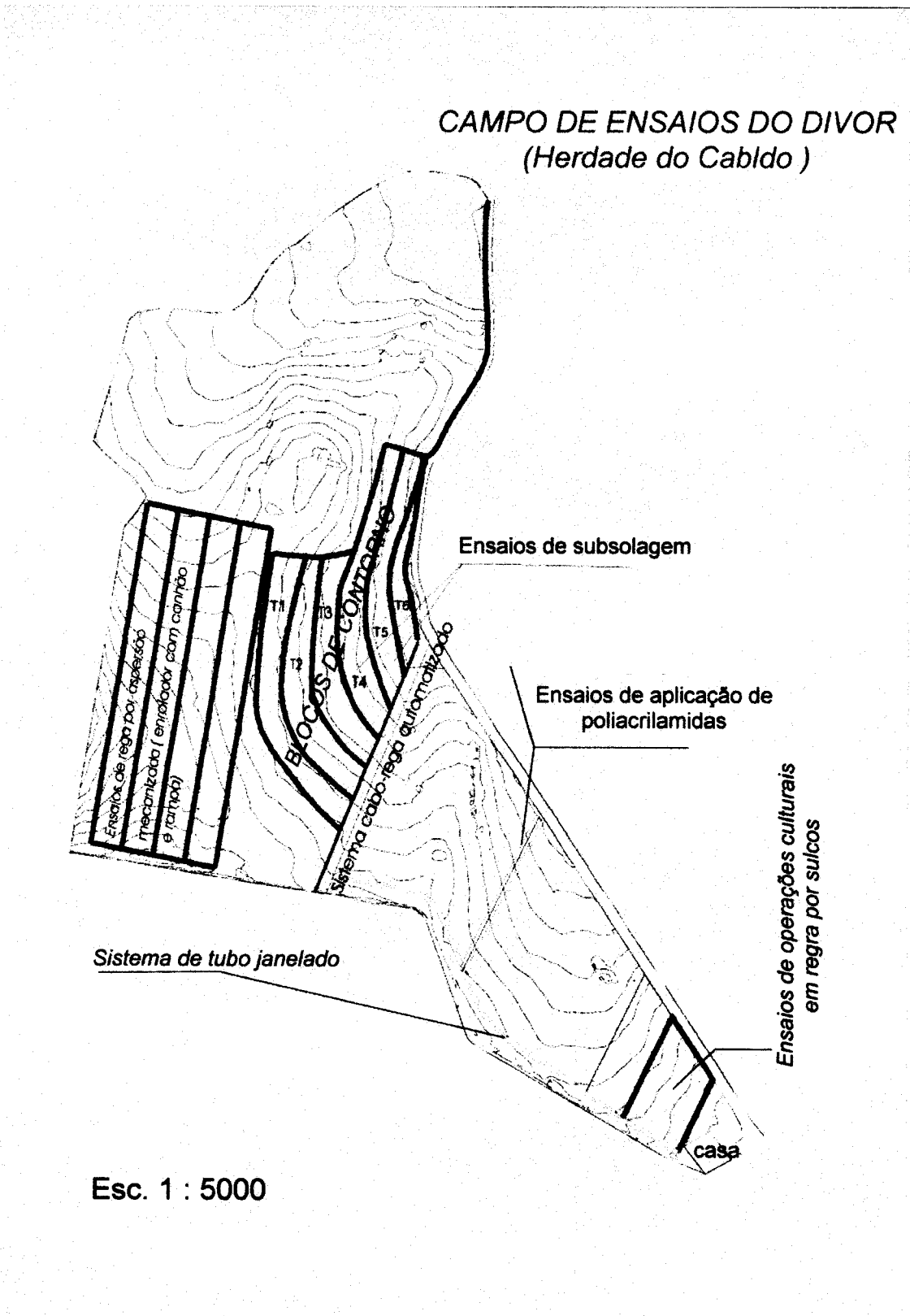
A todos os colegas deste Curso de Mestrado em Engenharia do Solo e da Água, permitindo-me estes referir o João Paulo Mendes e a Paula Brás que mais de perto comigo privaram.

A todo o pessoal técnico e auxiliar do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e não foram aqui mencionados.

Anexos

ANEXO 1: Esquema do Campo de Ensaio do Divor



Anexo 2: Valores de humidade (% de volume) obtidos para cada modalidade no Horizonte B, quando as amostras de solo foram sujeitas a forças de sucção correspondentes aos valores de pF indicados.

pF	Amostra	Test.	S. Lig.	S. Prof.
2	1	11,66	11,23	11,83
	2	11,4	11,85	11,45
	3	11,6	12,03	11,82
2,54	1	9,6	7,19	8,62
	2	9,17	8,37	8,35
	3	9,73	8,67	8,55
3	1	7,01	7	7,23
	2	7,21	8	7,96
	3	7,78	8,02	7,71
4,2	1	5,86	12,25	5,12
	2	5,62	10,91	7,88
	3	5,41	16,16	8,21

Quadro 1: Teores de humidade (% de volume) para cada força de sucção, em cada amostra, por modalidade.

Anexo 3: Aprofundamento radical observado nos mini-rizotrões

MOD. TUBO DIAS	TESTEMUNHA			SUBS. PROFUNDA			SUBS. LIGEIRA		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
27	39	34	35	34	32	40	30	31	27
34	43	40	42	43	39	46	40	40	37
41	46	44	46	47	48	52	44	48	45
48	49	46	47	49	52	57	48	50	47
55	57	50	50	57	59	60	50	55	50
62	61	56	54	62	63	63	52	58	54
69	62	58	60	67	67	64	55	61	58
76	66	59	66	77	76	70	63	65	66

Quadro 1 - Medição do aprofundamento radical (cm) efectuada directamente nos mini-rizotrões.

MOD. TUBO DIAS	TESTEMUNHA			SUBS. PROFUNDA			SUBS. LIGEIRA		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
27	33,8	29,4	30,3	29,4	27,7	34,6	26,0	26,8	23,4
34	37,2	34,6	36,4	37,2	33,8	39,8	34,6	34,6	32,0
41	39,8	38,1	39,8	40,7	41,6	45,0	38,1	41,6	39,0
48	42,4	39,8	40,7	42,4	45,0	49,4	41,6	43,3	40,7
55	49,4	43,3	43,3	49,4	51,1	52,0	43,3	47,6	43,3
62	52,8	48,5	46,8	53,7	54,6	54,6	45,0	50,2	46,8
69	53,7	50,2	52,0	58,0	58,0	55,4	47,6	52,8	50,2
76	57,2	51,1	57,2	66,7	65,8	60,6	54,6	56,3	57,2

Quadro 2 - Aprofundamento radical (cm) por modalidade e por tubo. Os valores foram obtidos multiplicando os valores do quadro 1 pelo $\cos 30^\circ$.

Dias/mod.	T	SP	SL
27	31,2	30,6	25,4
34	36,1	37,0	33,8
41	39,3	42,4	39,5
48	41,0	45,6	41,9
55	45,3	50,8	44,7
62	49,4	54,3	47,3
69	52,0	57,2	50,2
76	55,1	64,4	56,0

Quadro 3 - Valores médios do aprofundamento radical (cm) por modalidade.

Anexo 4: Valores da intensidade radical observada nos perfis verticais e nos planos horizontais para cada classe de diâmetro

a) Intensidade radical para os perfis verticais.

Mod. Cam. (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
0 - 15	6000	4124	4578
15 -30	1787	1342	4560
30 - 45	364	453	1644
45 - 60	27	160	818
60 - 75	0	71	480

Quadro 1: Intensidade radical obtida para as raízes com $\varnothing < 1$ mm, nas três modalidades, em cada uma das camadas consideradas.

Mod. Cam. (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
0 - 15	756	569	729
15 -30	187	36	453
30 - 45	36	18	107
45 - 60	0	0	80
60 - 75	0	0	0

Quadro 2: Intensidade radical obtida para as raízes com $1 \text{ mm} < \varnothing < 2$ mm, nas três modalidades, em cada uma das camadas consideradas.

Mod. Cam. (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
0 - 15	71	27	160
15 -30	9	9	169
30 - 45	0	0	44
45 - 60	0	0	0
60 - 75	0	0	0

Quadro 3: Intensidade radical obtida para as raízes com $2 \text{ mm} < \varnothing < 3$ mm, nas três modalidades, em cada uma das camadas consideradas.

Mod. Cam. (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
0 - 15	116	53	71
15 - 30	0	0	53
30 - 45	0	0	0
45 - 60	0	0	0
60 - 75	0	0	0

Quadro 4: Intensidade radical obtida para as raízes com $\varnothing > 3$ mm, nas três modalidades, em cada uma das camadas consideradas.

b) Intensidade radical obtida para os planos horizontais.

Mod. Planos (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
-15	2442	2767	3827
-30	238	458	900
-45	181	202	402
-60	150	127	654
-75	81	81	717

Quadro 5: Intensidade radical obtida para as raízes com $\varnothing < 1$ mm, nas três modalidades, em cada um dos planos.

Mod. Planos (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
-15	508	246	663
-30	19	73	219
-45	10	27	48
-60	13	4	75
-75	10	10	58

Quadro 6: Intensidade radical obtida para as raízes com $1 \text{ mm} < \varnothing < 2$ mm, nas três modalidades, em cada um dos planos.

Mod. Planos (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
-15	75	31	92
-30	0	19	0
-45	0	0	0
-60	0	0	0
-75	0	0	0

Quadro 7: Intensidade radical obtida para as raízes com $2 \text{ mm} < \varnothing < 3 \text{ mm}$, nas três modalidades, em cada um dos planos.

Mod. Planos (cm)	Testemunha	Subs. Ligeira	Subs. Profunda
-15	4	67	21
-30	0	0	0
-45	0	0	0
-60	0	0	0
-75	0	0	0

Quadro 8: Intensidade radical obtida para as raízes com $\varnothing > 3 \text{ mm}$, nas três modalidades, em cada um dos planos.

Anexo 5: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teores de humidade calculados antes e depois das regas

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	14308	14138	14223	20,09
20	13898	13888	13893	24,55
30	13558	13568	13563	29,99
40	13388	13338	13363	33,86
50	13109	13109	13109	39,50
60	13038	13038	13038	41,24

Quadro 1: Leituras efectuadas com a Sonda capacitiva e teor de humidade do solo no campo de ensaios 24 horas antes da 1ª rega controlada.

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	13758	13758	13758	26,64
20	13638	13638	13638	28,65
30	13438	13438	13438	32,35
40	13318	13318	13318	34,79
50	13118	13118	13118	39,28
60	13048	13048	13048	40,99

Quadro 2: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 24 horas depois da 1ª rega controlada na modalidade Testemunha

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	13838	13608	13723	27,21
20	13828	13488	13658	28,31
30	13568	13258	13413	32,85
40	13328	13288	13308	35,01
50	13118	13188	13153	38,46
60	13008	13258	13133	38,93

Quadro 3: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 24 horas depois da 1ª rega controlada na modalidade Subsolagem Ligeira

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	13738	13738	13738	26,97
20	13608	13608	13608	29,18
30	13328	13328	13328	34,58
40	13288	13288	13288	35,43
50	13168	13168	13168	38,11
60	13058	13058	13058	40,74

Quadro 4: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 24 horas depois da 1ª rega controlada na modalidade Subsolação Profunda

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	14218	14218	14218	20,15
20	14098	14098	14098	21,67
30	13728	13728	13728	27,13
40	13358	13358	13358	33,96
50	13148	13148	13148	38,58
60	13088	13088	13088	40,01

Quadro 5: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 24 horas antes da 3ª rega controlada na modalidade Testemunha

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	14278	14068	14173	20,71
20	13988	14138	14063	22,14
30	13588	13588	13588	29,54
40	13258	13188	13223	36,86
50	13058	13088	13073	40,37
60	13088	13108	13098	39,76

Quadro 6: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 48 horas depois da 3ª rega controlada na modalidade Testemunha

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	14488	14218	14353	18,57
20	14028	13798	13913	24,25
30	13618	13468	13543	30,35
40	13408	13118	13263	35,98
50	13198	13088	13143	38,69
60	13048	13178	13113	39,40

Quadro 7: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 24 horas antes da 3ª rega controlada na modalidade Subsolação Ligeira

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	14198	14138	14168	20,77
20	13888	13728	13808	25,85
30	13428	13318	13373	33,65
40	13368	13108	13238	36,53
50	13158	13108	13133	38,93
60	13038	13238	13138	38,81

Quadro 8: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 48 horas depois da 3ª rega controlada na modalidade Subsolação Ligeira

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	13998	14018	14008	22,89
20	13738	13938	13838	25,38
30	13398	13688	13543	30,35
40	13298	13268	13283	35,54
50	13118	13058	13088	40,01
60	13048	13028	13038	41,24

Quadro 9: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 24 horas antes da 3ª rega controlada na modalidade Subsolação Profunda

Prof. (cm)	Leituras			Humidade (%)
	Tubo 1	Tubo 2	Média	
10	14148	14158	14153	20,96
20	13728	13808	13768	26,48
30	13318	13418	13368	33,76
40	13138	13108	13123	39,17
50	13038	13078	13058	40,74
60	13038	13058	13048	40,99

Quadro 10: Leituras efectuadas com a Sonda Capacitiva e teor de humidade do solo 48 horas depois da 3ª rega controlada na modalidade Subsolagem Profunda

Anexo 6: Dados de entrada no programa ANREGA

a) Dados comuns a todas as regas

Declive dos sulcos: 0,002 (m/m)

Distância entre estações: 20 m

Nº de estações: Mod. T - 9

Mod. SL - 11

Mod. SP - 13

Coefficiente de rugosidade de Manning: 0,04

Distância entre sulcos: 1,5 m

b) Dados de cada rega/sulco

1. REGA 3, SULCO 42

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	9,5265	0,5619	9,4939	1,3082
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	5,6229	0,8406	2,839	1,8072
Altura de água (mm)	51		72	
Caudal (l/s)	2,7466		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	16.35	16.37	16.39	16.41	16.43	16.47	16.51	16.56	17.00	17.05
T. de recessão	17.31	17.33	17.35	17.37	17.39	17.41	17.43	17.44	17.45	17.46

2. REGA 3, SULCO 43

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	7,3517	0,68779	5,1567	1,5497
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	8,7508	0,648	5,586	1,5636
Altura de água (mm)	50		52	
Caudal (l/s)	2,7466		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	16.42	16.44	16.46	16.49	16.52	16.56	17.00	17.04	17.09	17.14
T. de recessão	17.37	17.39	17.41	17.43	17.45	17.47	17.49	17.50	17.51	17.52

3. REGA 3, SULCO 64

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂		P ₁	P ₂	
Eq. do perímetro molhado	11,526	0,5528		8,268	1,458	
Parâmetros	σ_1	σ_2		σ_1	σ_2	
Eq. área molhada	14,138	0,447		9,951	1,385	
Altura de água (mm)	60			45		
Caudal (l/s)	2,7466			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	13,14	13,16	13,18	13,2	13,23	13,26	13,3	13,34	13,38	13,43	13,48	13,52	13,57	14,02
T. Recessão	15,45	15,48	15,52	15,56	15,59	16,02	16,04	16,06	16,07	16,08	16,09	16,1	16,12	16,14

4. REGA 3, SULCO 65

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂		P ₁	P ₂	
Eq. do perímetro molhado	8,8507	0,6206		6,158	1,5069	
Parâmetros	σ_1	σ_2		σ_1	σ_2	
Eq. área molhada	14,8666	0,426		12,0936	1,3155	
Altura de água (mm)	55			30		
Caudal (l/s)	2,7466			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	13,33	13,35	13,38	13,41	13,45	13,5	13,55	14,01	14,07	14,12	14,17	14,21	14,25	14,28
T. Recessão	15,45	15,48	15,52	15,56	15,59	16,02	16,04	16,06	16,07	16,08	16,09	16,1	16,12	16,14

5. REGA 3, SULCO 66

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂		P ₁	P ₂	
Eq. do perímetro molhado	5,0819	0,8889		2,6217	1,838	
Parâmetros	σ_1	σ_2		σ_1	σ_2	
Eq. área molhada	11,286	0,557		8,7638	1,4127	
Altura de água (mm)	75			50		
Caudal (l/s)	2,7466			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	13,57	14,0	14,03	14,07	14,11	14,15	14,2	14,24	14,28	14,32	14,37	14,42	14,46	14,51
T. Recessão	16,0	16,03	16,06	16,09	16,12	16,14	16,16	16,18	16,19	16,2	16,22	16,24	16,25	16,26

6. REGA 3, SULCO 83

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂		P ₁	P ₂	
Eg. do perímetro molhado	7,095	0,7543		4,0257	1,7002	
Parâmetros	σ_1	σ_2		σ_1	σ_2	
Eg. área molhada	9,2612	0,6084		6,1772	1,5202	
Allura de água (mm)	85		65		65	
Caudal (l/s)	2,7466			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	17.12	17.13	17.16	17.18	17.2	17.23	17.26	17.3	17.33	17.36	17.39	17.42
T. Recessão	18.32	18.35	18.39	18.42	18.45	18.47	18.49	18.51	18.53	18.54	18.55	18.56

7. REGA 3, SULCO 84

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂		P ₁	P ₂	
Eg. do perímetro molhado	8,1635	0,7064		5,153	1,6268	
Parâmetros	σ_1	σ_2		σ_1	σ_2	
Eg. área molhada	8,8278	0,5858		6,209	1,467	
Allura de água (mm)	70		60		60	
Caudal (l/s)	2,7466			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	17.24	17.26	17.28	17.3	17.32	17.34	17.38	17.41	17.44	17.48	17.5	17.53
T. Recessão	18.42	18.45	18.49	18.52	18.55	18.57	19.0	19.02	19.04	19.05	19.07	19.08

8. REGA 3, SULCO 85

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂		P ₁	P ₂	
Eg. do perímetro molhado	4,3467	0,9357		2,0998	1,8912	
Parâmetros	σ_1	σ_2		σ_1	σ_2	
Eg. área molhada	12,6543	0,4876		10,5492	1,3394	
Allura de água (mm)	85		50		50	
Caudal (l/s)	2,7466			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	17.36	17.38	17.4	17.42	17.45	17.48	17.52	17.56	18.0	18.03	18.07	18.1
T. Recessão	18.52	18.55	18.59	19.03	19.07	19.1	19.12	19.14	19.17	19.19	19.2	19.21

9. REGA 4, SULCO 42

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	9,5265	0,5619	9,4939	1,3082
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	5,6229	0,8406	2,839	1,8072
Altura de água (mm)	40		75	
Caudal (l/s)	1,68		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	15.35	15.37	15.39	15.42	15.47	15.49	15.53	15.56	16.01	16.07
T. de recessão	16.4	16.43	16.47	16.49	16.54	16.56	16.59	17.03	17.05	17.08

10. REGA 4, SULCO 43

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	7,3517	0,68779	5,1567	1,5497
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	8,7508	0,648	5,586	1,5636
Altura de água (mm)	40		42	
Caudal (l/s)	1,68		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	15.4	15.42	15.45	15.47	15.51	15.55	15.59	16.03	16.07	16.13
T. de recessão	16.46	16.5	16.53	16.57	17.0	17.03	17.05	17.08	17.12	17.15

11. REGA 4, SULCO 64

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₁	P ₂	P ₂
Eq. do perímetro molhado	11,526	0,5528	8,268	8,268	1,458	1,458
Parâmetros	σ ₁	σ ₂	σ ₁	σ ₁	σ ₂	σ ₂
Eq. área molhada	14,138	0,447	9,951	9,951	1,385	1,385
Altura de água (mm)	45			25		
Caudal (l/s)	1,68			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	8.46	8.49	8.52	8.56	9.00	9.04	9.09	9.13	9.20	9.24	9.31	9.42	9.51	10.0
T. Recessão	10.45	10.47	10.49	10.52	10.55	10.57	10.59	11.01	11.03	11.05	11.06	11.17	11.08	11.1

12. REGA 4, SULCO 65

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂	P ₂	P ₁	P ₂	P ₂
Eq. do perímetro molhado	8,8507	0,6206	6,158	6,158	1,5069	1,5069
Parâmetros	σ ₁	σ ₂	σ ₂	σ ₁	σ ₂	σ ₂
Eq. área molhada	14,8666	0,426	12,0936	12,0936	1,3155	1,3155
Altura de água (mm)	42			22		
Caudal (l/s)	1,68			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	8.56	9.00	9.05	9.12	9.20	9.28	9.34	9.39	9.45	9.49	9.55	10.01	10.1	10.17
T. Recessão	10.47	10.5	10.53	10.56	10.59	11.03	11.07	11.12	11.15	11.19	11.22	11.25	11.28	11.31

13. REGA 4, SULCO 66

Parâmetros	Início do sulco			Meio do sulco		
	P ₁	P ₂	P ₂	P ₁	P ₂	P ₂
Eq. do perímetro molhado	5,0819	0,8889	2,6217	2,6217	1,838	1,838
Parâmetros	σ ₁	σ ₂	σ ₂	σ ₁	σ ₂	σ ₂
Eq. área molhada	11,286	0,557	8,7638	8,7638	1,4127	1,4127
Altura de água (mm)	63			30		
Caudal (l/s)	1,68			0		

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	9.08	9.12	9.16	9.21	9.25	9.32	9.37	9.42	9.47	9.53	10.0	10.11	10.19	10.25
T. Recessão	10.58	11.0	11.02	11.04	11.07	11.1	11.14	11.17	11.2	11.23	11.26	11.29	11.31	11.34

14. REGA 4, SULCO 83

	Início do sulco		Meio do sulco	
Parâmetros	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	7,095	0,7543	4,0257	1,7002
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	9,2612	0,6084	6,1772	1,5202
Altura de água (mm)	80		43	
Caudal (l/s)	1,68			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	12.1	12.12	12.15	12.19	12.22	12.26	12.31	12.36	12.4	12.45	12.51	12.55
T. Recessão	14.0	14.02	14.04	14.07	14.1	14.12	14.14	14.17	14.2	14.23	14.25	14.27

15. REGA 4, SULCO 84

	Início do sulco		Meio do sulco	
Parâmetros	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	8,1635	0,7064	5,153	1,6268
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	8,8278	0,5858	6,209	1,467
Altura de água (mm)	83		47	
Caudal (l/s)	1,68			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	12.21	12.23	12.27	12.3	12.34	12.37	12.41	12.45	12.5	12.54	12.59	13.03
T. Recessão	14.07	14.09	14.12	14.14	14.17	14.19	14.21	14.23	14.25	14.28	14.31	14.33

16. REGA 4, SULCO 85

	Início do sulco		Meio do sulco	
Parâmetros	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	4,3467	0,9357	2,0998	1,8912
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	12,6543	0,4876	10,5492	1,3394
Altura de água (mm)	75		40	
Caudal (l/s)	1,68			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	12.32	12.34	12.38	12.42	12.45	12.48	12.51	12.54	12.57	13.01	13.06	13.1
T. Recessão	14.14	14.17	14.2	14.23	14.25	14.28	14.31	14.32	14.34	14.36	14.39	14.41

17. REGA 5, SULCO 42

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	9,5265	0,5619	9,4939	1,3082
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	5,6229	0,8406	2,839	1,8072
Altura de água (mm)	42		65	
Caudal (l/s)	1,034		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	17.4	17.42	17.45	17.48	17.52	17.59	18.04	18.11	18.16	18.24
T. de recessão	19.31	19.35	19.39	19.43	19.46	19.49	19.52	19.55	19.58	20.0

18. REGA 5, SULCO 43

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	7,3517	0,68779	5,1567	1,5497
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	8,7508	0,648	5,586	1,5636
Altura de água (mm)	43		40	
Caudal (l/s)	1,034		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	17.48	17.5	17.53	17.57	18.01	18.06	18.12	18.18	18.23	18.32
T. de recessão	19.39	19.43	19.47	19.5	19.53	19.56	19.59	20.01	20.03	20.05

19. REGA 5, SULCO 64

	Início do sulco		Meio do sulco	
Parâmetros	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	11,526	0,5528	8,268	1,458
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	14,138	0,447	9,951	1,385
Altura de água (mm)	38		25	
Caudal (l/s)	1,034			
	0			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	7,49	7,52	7,55	8,00	8,05	8,11	8,16	8,21	8,29	8,33	8,39	8,44	8,49	8,56
T. Recessão	10,35	10,38	10,41	10,44	10,47	10,49	10,51	10,54	10,57	10,59	11,02	11,05	11,08	11,11

20. REGA 5, SULCO 65

	Início do sulco		Meio do sulco	
Parâmetros	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	8,8507	0,6206	6,158	1,5069
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	14,8666	0,426	12,0936	1,3155
Altura de água (mm)	35		23	
Caudal (l/s)	1,034			
	0			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	7,58	8,03	8,09	8,16	8,24	8,30	8,37	8,44	8,50	8,55	9,04	9,10	9,18	9,29
T. Recessão	10,47	10,5	10,53	10,56	10,59	11,03	11,07	11,12	11,15	11,19	11,22	11,25	11,28	11,31

21. REGA 5, SULCO 66

	Início do sulco		Meio do sulco	
Parâmetros	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	5,0819	0,8889	2,6217	1,838
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	11,286	0,557	8,7638	1,4127
Altura de água (mm)	73		23	
Caudal (l/s)	1,034			
	0			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	8,06	8,09	8,16	8,20	8,25	8,40	8,45	8,52	9,00	9,08	9,16	9,22	9,28	9,36
T. Recessão	10,52	10,55	10,58	11,01	11,04	11,07	11,1	11,13	11,16	11,19	11,22	11,25	11,27	11,29

22. REGA 5, SULCO 83

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	7,095	0,7543	4,0257	1,7002
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	9,2612	0,6084	6,1772	1,5202
Altura de água (mm)	65		33	
Caudal (l/s)	1,034		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	10,26	10,29	10,33	10,36	10,4	10,46	10,53	11,0	11,06	11,12	11,18	11,24
T. Recessão	12,28	12,31	12,34	12,37	12,39	12,41	12,44	12,46	12,48	12,5	12,52	12,54

23. REGA 5, SULCO 84

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	8,1635	0,7064	5,153	1,6268
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	8,8278	0,5858	6,209	1,467
Altura de água (mm)	78		33	
Caudal (l/s)	1,034		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	10,35	10,38	10,42	10,46	10,49	10,54	10,58	11,03	11,07	11,12	11,17	11,22
T. Recessão	12,38	12,42	12,46	12,5	12,53	12,56	12,59	13,02	13,05	13,08	13,11	13,14

24. REGA 5, SULCO 85

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	4,3467	0,9357	2,0998	1,8912
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	12,6543	0,4876	10,5492	1,3394
Altura de água (mm)	68		29	
Caudal (l/s)	1,034		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	10,44	10,47	10,5	10,54	10,57	11,01	11,06	11,11	11,16	11,21	11,27	11,31
T. Recessão	12,49	12,53	12,57	13,01	13,05	13,09	13,12	13,15	13,18	13,2	13,22	13,24

25. REGA 7, SULCO 42

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	9,5265	0,5619	9,4939	1,3082
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	5,6229	0,8406	2,839	1,8072
Altura de água (mm)	40		60	
Caudal (l/s)	1,034		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	17.25	17.28	17.31	17.34	17.37	17.41	17.46	17.52	17.57	18.04
T. de recessão	19.3	19.33	19.36	19.39	19.42	19.44	19.46	19.48	19.5	19.52

26. REGA 7, SULCO 43

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	ρ_1	ρ_2	ρ_1	ρ_2
Eq. do perímetro molhado	7,3517	0,68779	5,1567	1,5497
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	8,7508	0,648	5,586	1,5636
Altura de água (mm)	41		38	
Caudal (l/s)	1,034		0	

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T. de avanço	17.32	17.34	17.37	17.41	17.48	17.54	17.59	18.06	18.12	18.18
T. de recessão	19.35	19.39	19.43	19.46	19.49	19.52	19.54	19.56	19.58	20.0

27. REGA 7, SULCO 64

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	11,526	0,5528	8,268	1,458
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	14,138	0,447	9,951	1,385
Altura de água (mm)	40		29	
Caudal (l/s)	1,034			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	7.40	7.44	7.48	7.58	8.06	8.25	8.32	8.41	8.54	9.01	9.13	9.41	9.58	10.09
T. Recessão	10.37	10.39	10.41	10.43	10.45	10.47	10.49	10.51	10.53	10.55	10.57	10.59	11.01	11.03

28. REGA 7, SULCO 65

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	8,8507	0,6206	6,158	1,5069
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	14,8666	0,426	12,0936	1,3155
Altura de água (mm)	48		26	
Caudal (l/s)	1,034			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	7.47	7.52	8.00	8.08	8.16	8.24	8.35	8.43	8.53	8.59	9.08	9.15	9.24	9.35
T. Recessão	10.46	10.48	10.5	10.53	10.55	10.57	11.0	11.04	11.08	11.12	11.16	11.2	11.23	11.26

29. REGA 7, SULCO 66

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	5,0819	0,8889	2,6217	1,838
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	11,286	0,557	8,7638	1,4127
Altura de água (mm)	60		23	
Caudal (l/s)	1,034			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T. Avanço	7.57	8.01	8.10	8.20	8.30	8.35	8.42	8.49	8.59	9.07	9.18	9.31	9.41	9.53
T. Recessão	10.55	10.58	11.01	11.03	11.05	11.07	11.1	11.13	11.16	11.19	11.22	11.25	11.27	11.3

30. REGA 7, SULCO 83

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	7,095	0,7543	4,0257	1,7002
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	9,2612	0,6084	6,1772	1,5202
Altura de água (mm)	62		33	
Caudal (l/s)	1,034			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	10.37	10.4	10.44	10.48	10.53	10.59	11.08	11.15	11.21	11.28	11.36	11.42
T. Recessão	12.5	12.52	12.54	12.56	12.58	13.0	13.03	13.06	13.09	13.12	13.14	13.16

31. REGA 7, SULCO 84

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	8,1635	0,7064	5,153	1,6268
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	8,8278	0,5858	6,209	1,467
Altura de água (mm)	84		33	
Caudal (l/s)	1,034			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	10.46	10.49	10.54	10.58	11.04	11.1	11.17	11.25	11.32	11.39	11.45	11.52
T. Recessão	12.56	12.58	13.0	13.02	13.04	13.06	13.08	13.11	13.14	13.17	13.2	13.23

32. REGA 7, SULCO 85

Parâmetros	Início do sulco		Meio do sulco	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Eq. do perímetro molhado	4,3467	0,9357	2,0998	1,8912
Parâmetros	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Eq. área molhada	12,6543	0,4876	10,5492	1,3394
Altura de água (mm)	61		29	
Caudal (l/s)	1,034			

Estações	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T. Avanço	10.55	11.0	11.04	11.08	11.14	11.22	11.29	11.38	11.45	11.53	12.01	12.07
T. Recessão	13.01	13.03	13.05	13.07	13.1	13.13	13.17	13.21	13.25	13.29	13.31	13.34

Anexo 7: Curvas da infiltração obtidas para cada sulco/rega controlado em cada modalidade

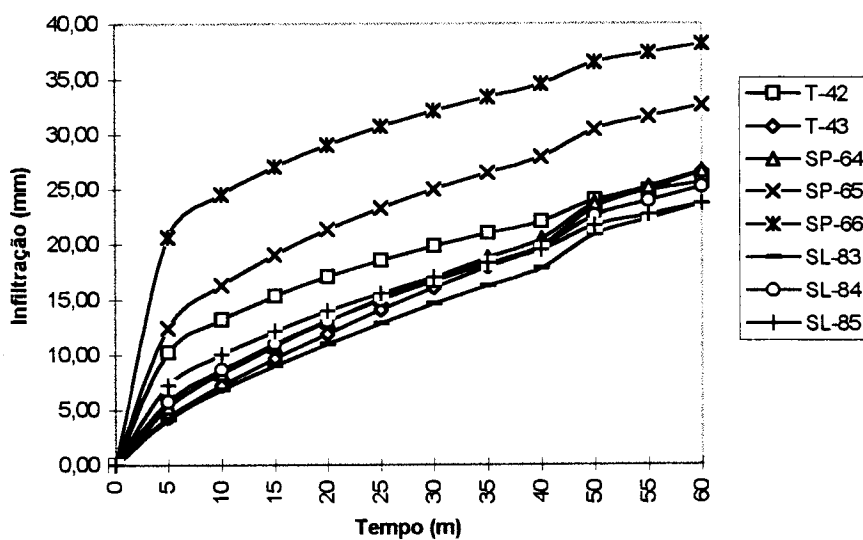


Gráfico 1: Curvas da infiltração obtidas para a 3ª rega.

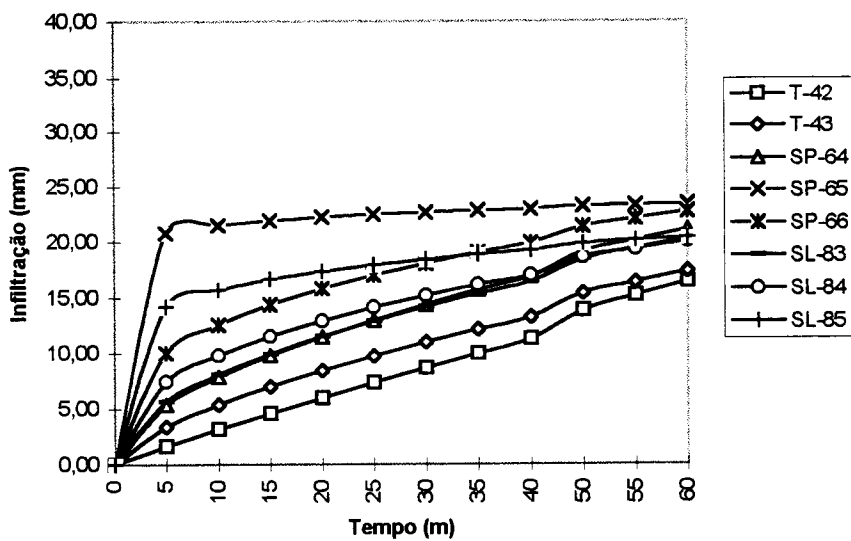


Gráfico 2: Curvas da infiltração obtidas para a 4ª rega.

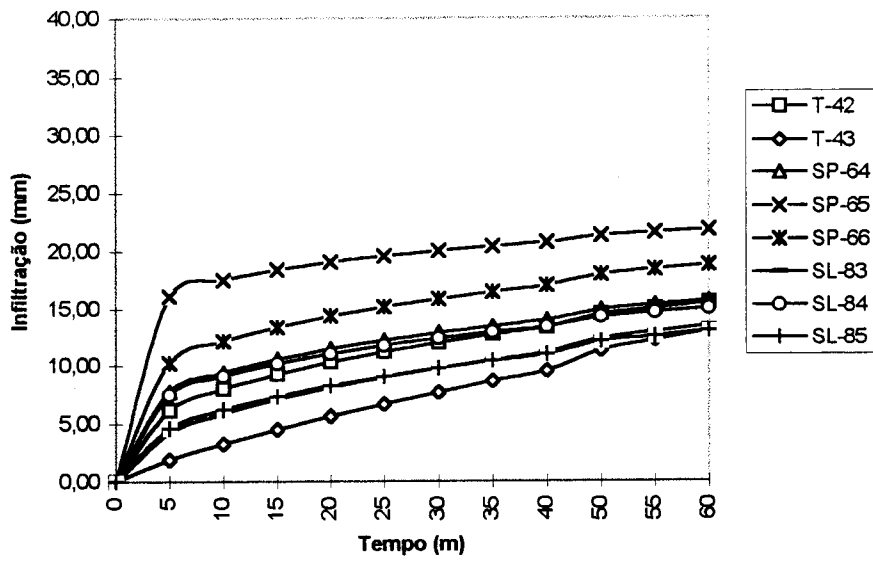


Gráfico 3: Curvas da infiltração obtidas para a 5ª rega.

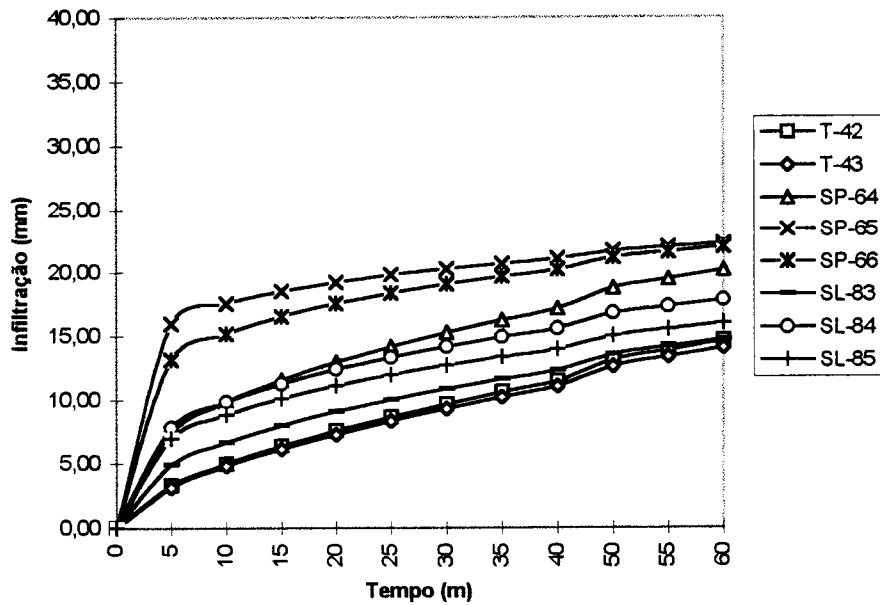


Gráfico 4: Curvas da infiltração obtidas para a 7ª rega.

