



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

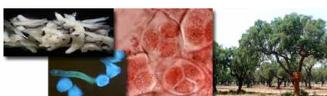
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/14/15799

METODOLOGIAS PARA UM MELHOR PLANEAMENTO E GESTÃO DO USO DO SOLO AGRÍCOLA ATENDENDO À VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO DIFUSA

REFERÊNCIA DO PROJECTO N.º POCI/AGR/57719/2004
RELATÓRIO REFERENTE AO 2.º ANO DE EXECUÇÃO

Equipas do projecto:



Lisboa, Fevereiro de 2007

Estudo realizado para:

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



Programa Operacional Ciência e Inovação 2010
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, INOVAÇÃO E ENSINO SUPERIOR

METODOLOGIAS PARA UM MELHOR PLANEAMENTO E GESTÃO DO USO DO SOLO AGRÍCOLA ATENDENDO À VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO DIFUSA

RESUMO

O presente relatório corresponde ao 2.º Relatório de Execução Material do projecto POCI/AGR/57719/2004 intitulado "Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa", em curso entre Maio de 2005 e de 2008, para a Fundação para a Ciência e Tecnologia.

O projecto é coordenado pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e conta com a participação do ICAM (Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas), do IMAR (Instituto do Mar) e do IST (Instituto Superior Técnico).

Neste relatório apresentam-se os trabalhos desenvolvidos na primeira metade do projecto. Têm essencialmente a ver com o trabalho de campo desenvolvido bem como a sua interpretação preliminar, dando resposta às seguintes tarefas propostas para o projecto: *Tarefa 1 - Caracterização do sistema agro-hídrico; Tarefa 2: Caracterização de parâmetros do solo e hidrodinâmicos e Tarefa 3: Monitorização e modelação do aquífero.*

Inserido no objectivo global do projecto, i.e. "Estimular a utilização futura de culturas mais sustentáveis e de melhores práticas agrícolas que possam contribuir para diminuir o risco de degradação da qualidade das águas subterrâneas protegendo-as atendendo, entre outros aspectos, à sua vulnerabilidade", foram seleccionadas diversas áreas de estudo em parcelas regadas de Ferreira do Alentejo onde se está a efectuar monitorização de solos e águas (de rega, de escorrência, da zona vadosa e subterrâneas) para avaliar o efeito de diferentes culturas nas áreas de jusante das mesmas. Esses dados serão modelados e será apresentada a optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada com recurso a modelos de apoio à decisão.

AGRADECIMENTOS

O trabalho que se apresenta foi realizado no âmbito do projecto POCI/AGR/57719/2004, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia a quem se agradece.

Agradece-se às várias pessoas que têm colaborado neste trabalho, nomeadamente: (1) aos agricultores senhores Manuel Duarte e Guiomar pela autorização de utilização das suas parcelas regadas e pelo apoio prestado; (2) aos Senhores Custódio Alves e José Lobato Condeças, Técnicos da Universidade de Évora, por todo o apoio prestado na instalação dos piezómetros e na recolha de amostras de solos; (3) aos técnicos do COTR, Engenheiros Luís Miguel Boteta e Hilário Catronga pelo apoio na instalação dos piezómetros e na cedência de informação sobre as datas, dotações de rega e fertilizações; (4) aos técnicos do Laboratório de Solos e Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora, pela realização dos ensaios de caracterização textural, de densidades do solo, de porosidade e de teor de humidade e (5) ao Dr. Manuel Oliveira agradece-se a leitura e sugestões efectuadas para este relatório.

ÍNDICE DO TEXTO

1	INTRODUÇÃO	1
2	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	2
3	DESCRIÇÃO DAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS ADOPTADAS	3
3.1	Considerações gerais	3
3.2	Culturas instaladas	4
3.3	Processos de rega	5
3.4	Modos de fertilização	10
4	METODOLOGIAS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS PARCELAS	10
4.1	Solos	10
4.1.1	Critérios para a selecção dos locais de amostragem	10
4.1.2	Textura	11
4.1.3	Densidades aparente e real e porosidade	12
4.1.4	Teor de humidade, armazenamento de água no solo e carga hidráulica	13
4.1.5	Desenvolvimento radical	13
4.1.6	pF	14
4.1.7	Concentração iónica	14
4.1.8	Capacidade de troca catiónica	15
4.2	Águas	15
4.2.1	Critérios para a selecção dos locais de amostragem	15
4.2.2	SAR	17
4.2.3	Concentrações iónicas e condutividade eléctrica	18
5	ESQUEMA EXPERIMENTAL DE COLHEITA DE DADOS DE QUALIDADE	19
5.1	Modalidades ensaiadas	19
5.2	Qualidade dos solos	19
5.3	Qualidade das águas	20
5.4.1	Área circundante às parcelas	20
5.4.2	Interior das parcelas	21
5.4.2.1	Água de escorrência	21
5.4.2.2	Água da zona vadosa	22
5.4.2.3	Águas subterrâneas	23
6	RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE PRELIMINAR	24
6.1	Solos	24
6.1.1	Textura	24
6.1.2	Densidade aparente e real e porosidade	26
6.1.3	Desenvolvimento radical	27
6.1.4	Concentração iónica	28
6.1.5	Capacidade de troca catiónica	30
6.2	Águas	31
6.2.1	Área circundante às parcelas	31
6.2.1.1	Águas subterrâneas	31
6.2.1.2	Água das ribeiras	33

6.2.1.3	Água de rega	34
6.2.2	Interior das parcelas	38
6.2.2.1	Água de escorrência	38
6.2.2.2	Água da zona vadosa	42
6.2.2.3	Água subterrânea	51
7	MODELAÇÃO DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	55
7.1	Introdução	55
7.2	Ocupação agrícola da infra-estrutura 12	56
7.3	Modelação preliminar da recarga de águas subterrâneas	56
7.4	Conclusões	60
8	OPTIMIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO	61
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	BIBLIOGRAFIA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Área de estudo, onde se assinalam a vermelho os Montes da Mancoca e do Pinheirinho.....	3
Fig. 2 - Aspecto da cultura do milho no Monte da Mancoca, 20 dias após a sementeira.....	4
Fig. 3 - Aspecto da sementeira da cultura do milho no Monte do Pinheirinho (mobilização na zona).....	4
Fig. 4 - Calendário da rega e da adubação no Monte da Mancoca, em 2006.....	7
Fig. 5 - Calendário da rega e da adubação no Monte do Pinheirinho, em 2006	9
Fig. 6 - Recolha de monolitos de solo pelos técnicos da Universidade de Évora	11
Fig. 7 - Tubo de acesso para o minirizotron, em acrílico.....	13
Fig. 8 - Endoscópio BTC Minirhizotron Camera Systems e respectivo sistema de leitura	14
Fig. 9 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola (Riverside), segundo o U. S. Salinity Laboratory (1954)	18
Fig. 10 - Infra-estruturas de monitorização na área de estudo.....	21
Fig. 11 - Anel de escorrência para amostragem de água superficial no Monte da Mancoca	22
Fig. 12 - Instalação das cápsulas de Teflon® no Monte da Mancoca	23
Fig. 13 - Instalação dos piezómetros	24
Fig. 14 - Percentagem granulométrica de amostras de solo colhidas a diferentes profundidades nos Montes da Mancoca e Pinheirinho.....	25
Fig. 15 - Desenvolvimento radical observado no dia 22 de Agosto de 2006.....	27
Fig. 16 - Resultados da qualidade dos solos para os catiões maiores e nitrato, nas três áreas de estudo, antes da sementeira.....	29
Fig. 17 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas da área circundante das parcelas nos piezómetros (círculos) e nos poços (triângulos)	31
Fig. 18 - Resultados da qualidade das águas subterrâneas para os catiões maiores e nitrato, na área envolvente das parcelas	33
Fig. 19 - Resultados da qualidade das águas das ribeiras, para o nitrato e a condutividade eléctrica, na área envolvente às parcelas, no ano 2006	34
Fig. 20 - Resultados da qualidade das águas do canal de rega e da vala de drenagem, para o nitrato e a condutividade eléctrica	35
Fig. 21 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola: água de rega.....	36
Fig. 22 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo	41
Fig. 23 - Resultados da variação do teor em nitratos nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo.....	42
Fig. 24 - Variação da condutividade eléctrica na zona vadosa para as três parcelas de ensaio.....	46
Fig. 25 - Projecção dos valores do índice SAR das águas da zona vadosa num diagrama de aptidão das águas para uso agrícola.....	47
Fig. 26 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios, para o ensaio da Mancoca (milho) e do Pinheirinho (girassol)	49
Fig. 27 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios, para o ensaio da Mancoca (girassol).....	50
Fig. 28 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas das duas parcelas de ensaio, na Mancoca (triângulos) e no Pinheirinho (circunferências).....	51
Fig. 29 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios	53

Fig. 30 - Resultados da variação das concentrações em iões maiores nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios.....	54
Fig. 31 - Resultados da variação das concentrações em nitrato nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios	54
Fig. 32 - Variação da concentração em zinco nas águas subterrâneas do Pinheirinho	55
Fig. 33 - Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário EARTH (cf. Van der Lee e Gehrels, 1990).....	58
Fig. 34 - Curvas de calibração e recarga estimada pelo modelo EARTH em 5 piezómetros.....	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte da Mancoca.....	6
Quadro 2 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte do Pinheirinho	8
Quadro 3 - Datas e dotações de rega na cultura do girassol em 2006, Monte do Pinheirinho.....	10
Quadro 4 - Escala de Atterberg (Costa, 1999).....	12
Quadro 5 - Locais de amostragem de águas na área circundante às parcelas	16
Quadro 6 - Locais de amostragem de águas no interior das parcelas	16
Quadro 7 - Modalidades ensaiadas nos trabalhos de campo de 2006	19
Quadro 8 - Plano de amostragem de solos para determinação de parâmetros químicos nas três modalidades, antes e depois dos ensaios	20
Quadro 9 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (MM).....	25
Quadro 10 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (PM)	25
Quadro 11 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte da Mancoca	26
Quadro 12 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte do Pinheirinho (milho).....	26
Quadro 13 - Resultados da qualidade das amostras de solos das três parcelas.....	28
Quadro 14 - Valores de: soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Mancoca milho).....	30
Quadro 15 - Valores de: soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho milho).....	30
Quadro 16 - Valores de: soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho girassol). 30	30
Quadro 17 - Resultados das análises efectuadas pelo INETI às águas subterrâneas da área circundante às parcelas	32
Quadro 18 - Resultados das análises efectuadas nas águas das ribeiras presentes na área circundante às parcelas	32
Quadro 19 - Resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem 35	35
Quadro 20 - Tolerância das plantas do milho e do girassol à salinidade da água de rega e do solo (Ayers e Westcot, 1985)	37
Quadro 21 - Normas gerais para a classificação da qualidade da água de rega utilizada pela FAO (Ayers e Westcot, 1985)	37
Quadro 22 - Qualidade da água de rega do Monte da Mancoca e Pinheirinho (Barragem do Monte Branco)	38
Quadro 23 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte da Mancoca - Milho	39
Quadro 24 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Milho	40
Quadro 25 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Girassol	41
Quadro 26 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte da Mancoca - Milho	43

Quadro 27 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho - Milho	44
Quadro 28 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Girassol.....	45
Quadro 29 - Classificação de um solo quanto à sua sodicidade (Richards, 1954)	48
Quadro 30 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte da Mancoca	52
Quadro 31 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte do Pinheirinho.....	52
Quadro 32 - Parâmetros de calibração do modelo EARTH (2002-2005)	58
Quadro 33 - Resultados do modelo EARTH (2002-2005).....	60

METODOLOGIAS PARA UM MELHOR PLANEAMENTO E GESTÃO DO USO DO SOLO AGRÍCOLA ATENDENDO À VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO DIFUSA

Relatório de 2006

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve as actividades desenvolvidas durante a primeira metade do projecto POCI/AGR/57719/2004 intitulado "Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa", relativamente às: *Tarefa 1 - Caracterização do sistema agro-hídrico*; *Tarefa 2: Caracterização de parâmetros do solo e hidrodinâmicos* e *Tarefa 3: Monitorização e modelação do aquífero*.

O projecto é coordenado pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e conta com a participação do ICAM (Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas), do IMAR (Instituto do Mar) e do IST (Instituto Superior Técnico).

Os trabalhos desenvolvidos enquadram-se nos objectivos estabelecidos para o projecto, i.e. "Estimular a utilização futura de culturas mais sustentáveis e de melhores práticas agrícolas que possam contribuir para diminuir o risco de degradação da qualidade das águas subterrâneas protegendo-as atendendo, entre outros aspectos, à sua vulnerabilidade".

Os trabalhos específicos realizados neste primeiro ano e meio do projecto, correspondente a metade do tempo do mesmo, são apresentados nos sete capítulos deste 2.º Relatório e correspondem ao desenvolvimento das seguintes tarefas:

- Selecção e caracterização dos locais de estudo e instalação de ensaios de campo em 3 parcelas agrícolas (correspondendo a 2 solos) e respectiva monitorização da evolução da qualidade dos solos e das águas resultante da actividade agrícola, para a cultura do milho e do girassol.
- Descrição das práticas agrícolas adoptadas, nomeadamente as culturas instaladas, processos de rega e modos de fertilização utilizados.
- Descrição das metodologias para a caracterização físico-química das parcelas em termos de:
 - Solos: textura, densidades aparente e real e porosidade, teor de humidade, armazenamento de água no solo e carga hidráulica, desenvolvimento radical,

curvas pF, concentração iónica e capacidade de troca catiónica.

- Águas: níveis/volumes, parâmetros físico-químicos e concentrações iónicas.
- Descrição do esquema experimental de colheita de dados de qualidade dos solos e das águas, tanto na área circundante às parcelas como no interior das mesmas, relativamente a águas de rega, das valas de drenagem, de escorrência, da zona vadosa e subterrâneas.
- Análise dos resultados obtidos e sua interpretação preliminar.

A finalidade do trabalho experimental é obter parte da informação e dos conhecimentos sobre os efeitos de diferentes práticas agrícolas nos processos que interferem na migração dos poluentes de origem agrícola (fertilização de solos), para diferentes meios (solos, zona vadosa e águas subterrâneas). Estes dados serão complementados com informação de novos ensaios a realizar em 2007, por forma a incluir outro solo e, também, mais uma cultura, de acordo com o inicialmente definido na proposta.

Os dados do conjunto da monitorização das parcelas agrícolas serão modelados na 2.ª fase do projecto, atendendo não só aos dados locais mas também à informação da qualidade da água da zona envolvente das parcelas, i.e. a pequena bacia hidrográfica onde se inserem, situada na "Infra-estrutura 12" do perímetro de rega do Alqueva (Ferreira do Alentejo).

Não se registam desvios entre as tarefas programadas e as tarefas executadas.

2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Na sequência dos resultados dos trabalhos desenvolvidos nos primeiros meses do projecto (*cf.* 1.º Relatório de Progresso), as áreas de ensaios de campo seleccionadas localizam-se nos Montes da Mancoca e Pinheirinho (*cf.* Fig. 1). Os trabalhos desenvolvem-se em duas parcelas regadas por aspersão com "center pivot" na área de estudo comum ao projecto RECOQUAR "Rede de Controlo da Qualidade da Água de Rega", em curso no COTR entre Fevereiro de 2005 e 2007, numa bacia hidrográfica situada na "Infra-estrutura 12" do perímetro de rega do Alqueva (Ferreira do Alentejo).

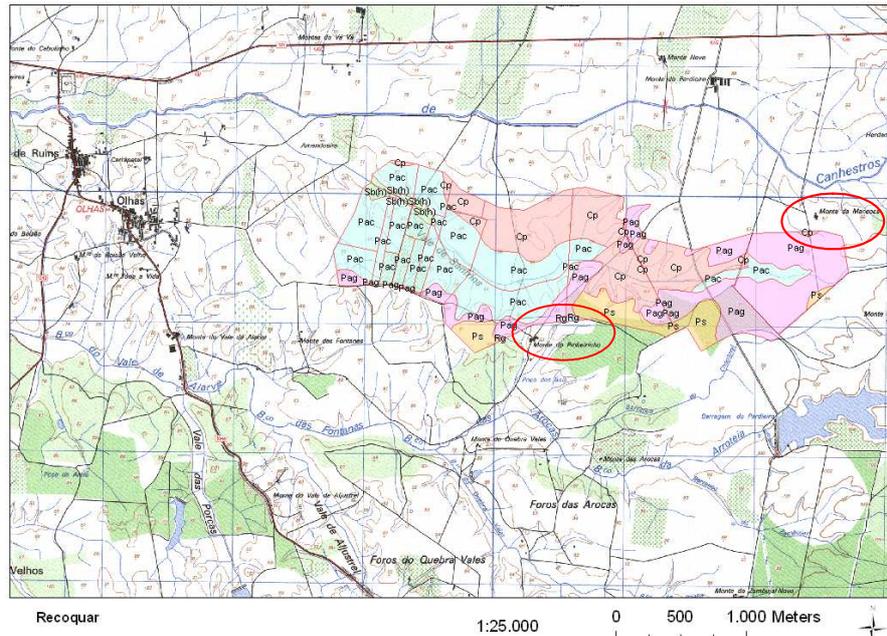


Fig. 1 - Área de estudo, onde se assinalam a vermelho os Montes da Mancoca e do Pinheiro

Conforme se referiu no relatório acima mencionado, estas duas áreas têm as características necessárias para a realização dos ensaios, designadamente:

- Condições de campo em termos de culturas previstas e de apoio logístico possível.
- Inserção na área de regadio do perímetro de rega de Alqueva.
- Inserção numa pequena bacia hidrográfica, com possibilidade de acesso a registos dos caudais de jusante da bacia (estação hidrométrica), com infra-estruturas de monitorização de águas subterrâneas (furos e poços) e onde é possível ter acesso aos caudais de rega e fertilizantes aplicados.
- Solos com características de permeabilidade interessantes para o estudo da migração de iões em profundidade.
- Possibilidade de acesso aos registos da precipitação e da evapotranspiração na Estação Meteorológica do Outeiro, pelo COTR, a dotações de rega e a quantidade de fertilizantes aplicados.

3 Descrição das práticas agrícolas adoptadas

3.1 Considerações gerais

Tendo em atenção que objectivo deste estudo é a análise do movimento de água e solutos de acordo com as práticas de gestão agrícola praticadas pelos agricultores, não foi feita qualquer interferência na condução das regas realizadas nas três parcelas.

As modalidades ensaiadas, as culturas instaladas, processos de rega e métodos de fertilização são seguidamente apresentados.

3.2 Culturas instaladas

A cultura instalada no Monte da Mancoca foi milho para grão, em 29 de Abril, segundo práticas culturais adoptadas pelo agricultor (Fig. 2). Para a preparação da cama da semente, o agricultor efectuou uma lavoura de duas gradagens. A cultura previamente instalada no terreno de Inverno anterior havia sido o algodão.



Fig. 2 - Aspecto da cultura do milho no Monte da Mancoca, 20 dias após a sementeira

Na parcela localizada no Monte do Pinheirinho foram instaladas duas culturas na área regada pela rampa: girassol, com sementeira em 6 de Maio, e milho para silagem com mobilização na zona (Fig. 3), em 24 de Maio. A sementeira do milho foi efectuada sobre o restolho da aveia x vícia (cultura instalada no local durante o Inverno).



Fig. 3 - Aspecto da sementeira da cultura do milho no Monte do Pinheirinho (mobilização na zona)

A sementeira directa caracteriza-se por não haver qualquer tipo de mobilização do solo antes da sementeira. A mobilização que existe é apenas a necessária para a introdução e enterramento da semente, sendo efectuada por um subsolador-adubador. Para além da operação de subsolagem e adubação de fundo (com adubos líquidos ou sólidos), a alfaia permite fazer, simultaneamente, a preparação da cama de sementeira, tudo numa única passagem (Chia *et al.*, 2002).

3.3 Processos de rega

O método de rega utilizado nas duas parcelas é o de aspersão com rampas rotativas (center-pivot). A área regada em cada "pivot" é de cerca de 23 hectares.

A água de rega tem origem na barragem de Monte Branco. Em cada uma das parcelas foi respeitada a gestão da rega efectuada tradicionalmente pelo agricultor.

No Monte da Mancoca foram realizadas, entre 24 de Maio e 11 de Setembro de 2006, 62 regas, num total de 574 mm. No Pinheirinho foram realizadas 77 regas no milho até 4 de Setembro, tendo sido aplicados um total de 630 mm. No girassol, a dotação aplicada foi de 109 mm em 12 regas efectuadas. As datas de rega bem com as dotações aplicadas nas culturas são apresentadas nos Quadro 1 a Quadro 3 e nas Fig. 4 e Fig. 5.

Quadro 1 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte da Mancoca

Data	Dotação l/m ²	Operação	Produto	Aplicação
24-05-2006	9	Fundo	HUMIFOSFATO 15	600/ha
25-05-2006	10			
26-05-2006	10			
30-05-2006	10			
03-06-2006	10			
06-06-2006	11			
08-06-2006	5	Cobertura	HUMIFOSFATO 15	100 l/ha
09-06-2006	10			
11-06-2006	10			
20-06-2006	10			
21-06-2006	10			
22-06-2006	10			
23-06-2006	5	Cobertura	NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
26-06-2006	5	Cobertura	NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
28-06-2006	10			
29-06-2006	9			
30-06-2006	5	Cobertura	NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
02-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
04-07-2006	10			
07-07-2006	10			
08-07-2006	10			
10-07-2006	5		LEDER MAIS	3 l/ha
12-07-2006	10			
14-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	100 l/ha
15-07-2006	10			
16-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	100 l/ha
18-07-2006	10			
22-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	100 l/ha
23-07-2006	10			
25-07-2006	10			
26-07-2006	10			
28-07-2006	10			
30-07-2006	10			
31-07-2006	10			
02-08-2006	10			
03-08-2006	10			
05-08-2006	10			
07-08-2006	10			
11-08-2006	10			
13-08-2006	10			
14-08-2006	10			
17-08-2006	10			
18-08-2006	10			
19-08-2006	10			
21-08-2006	10			
22-08-2006	10			
23-08-2006	10			
24-08-2006	10			
25-08-2006	10			
27-08-2006	10			
28-08-2006	10			
29-08-2006	10			
30-08-2006	10			
01-09-2006	10			
02-09-2006	10			
04-09-2006	10			
05-09-2006	10			
06-09-2006	10			
07-09-2006	10			
08-09-2006	10			
10-09-2006	10			
11-09-2006	10			
Dotação total	574			

2006

MONTE DA MANCOCA - Cultura do milho



Fig. 4 - Calendário da rega e da adubação no Monte da Mancoca, em 2006

Quadro 2 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte do Pinheirinho

Data	Dotação	Operação	Produto	Aplicação
	l/m2			
28-04-2006	12.0	Fundo	humifosfato 15%	580 l/ha
29-04-2007	8.5			
01-05-2006	12.0			
03-05-2006				
04-05-2007	12.0			
08-05-2006	12.0			
10-05-2006	12.0			
14-05-2006	12			
17-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
20-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
23-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
25-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
28-05-2006	11			
01-06-2006	11			
05-06-2006	11			
08-06-2006	12.5			
11-06-2006	12.5			
19-06-2006	11			
22-06-2006	12.5		nitrocálcio+magnésio	
23-06-2006	5.5		nitrocálcio+magnésio	
25-06-2006	5.5		nitrocálcio+magnésio	
26-06-2006	5.5			
27-06-2006	7.0			
28-06-2006	7.0			
29-06-2007	7.0		nitro-zinco	
30-06-2008	7.0		nitro-zinco	
01-07-2006	7.0		nitro-zinco	
03-07-2006	7.0		nitro-zinco	
04-07-2007	7.0		nitro-zinco	
05-07-2008	7.0			
06-07-2009	7.0		nitro-zinco	
07-07-2010	11.0			
08-07-2011	7.0		nitro-zinco	
09-07-2012	8.5			
10-07-2013	10.5			
11-07-2014	10.5			
12-07-2015	9.0			
13-07-2016	10.5			
14-07-2017	10.5			
16-07-2006	9.0			
17-07-2006	10.5			
18-07-2006	10.5			
19-07-2006	10.5			
20-07-2006	8.5			
21-07-2006	10.5			
22-07-2006	10.5			
23-07-2006	10.5			
24-07-2006	10.5			
25-07-2006	5.5			
27-07-2006	10.5			
28-07-2006	10.5			
29-07-2006	10.5			
30-07-2006	10.5			
31-07-2006	10.5			
01-08-2006	10.5			
02-08-2006	10.5			
03-08-2006	10.5			
04-08-2006	10.5			
05-08-2006	10.5			
06-08-2006	10.5			
07-08-2006	10.5			
08-08-2006	7.0			
10-08-2006	7.0			
11-08-2006	9.0			
12-08-2006	9.0			
13-08-2006	7.0			
14-08-2006	9.0			
15-08-2006	5.0			
20-08-2006	5.5			
21-08-2006	5.5			
22-08-2006	5			
23-08-2006	5			
24-08-2006	5			
25-08-2006	5			
26-08-2006	5			
27-08-2006	5			
04-09-2006	5			
Dotação total	630			

2006

PINHEIRINHO MILHO

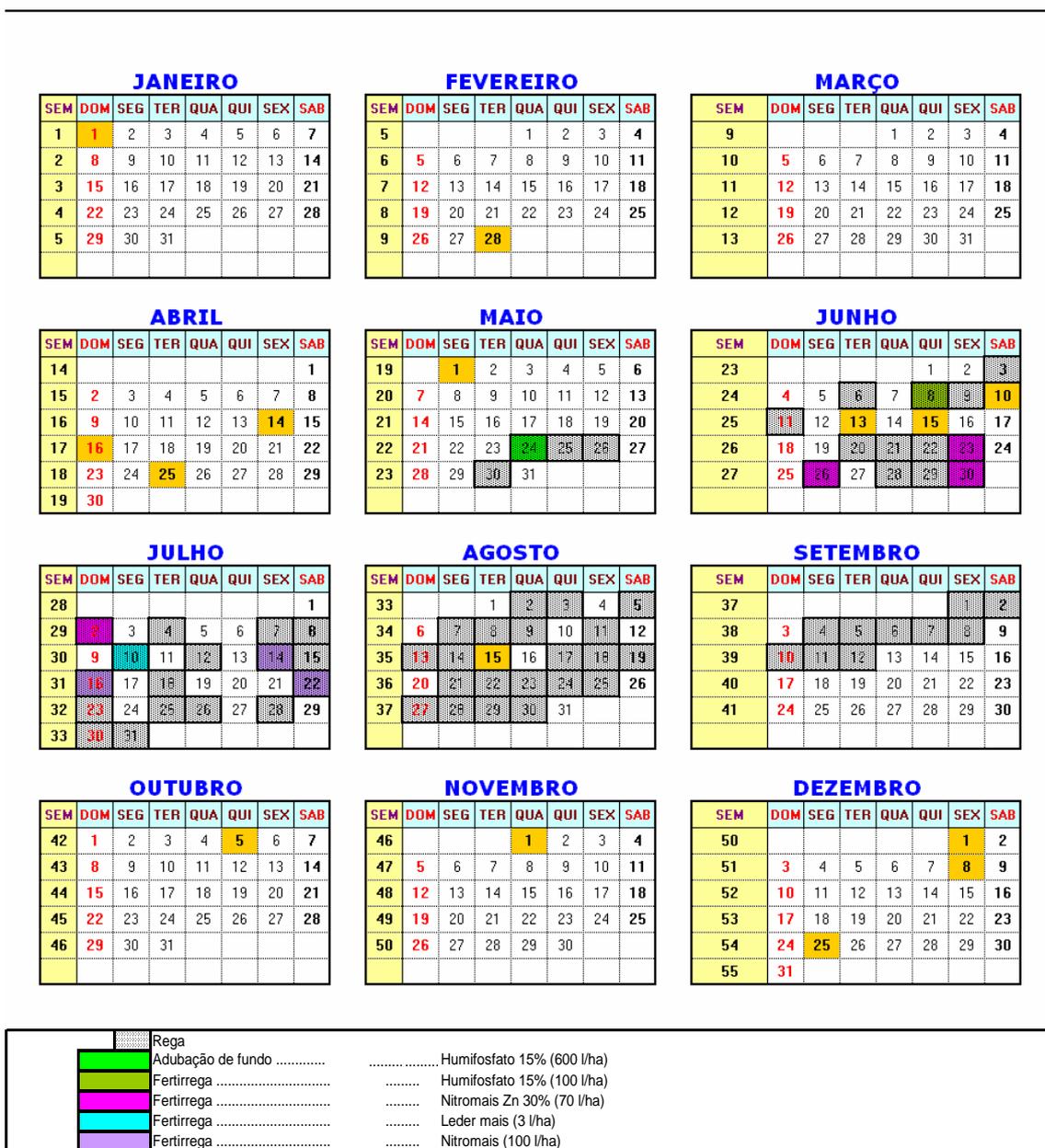


Fig. 5 - Calendário da rega e da adubação no Monte do Pinheiro, em 2006

No Monte do Pinheiro, a área cultivada com milho foi regada e fertilizada independentemente do resto da parcela.

Salienta-se que não foram aplicados directamente quaisquer produtos fertilizantes ou pesticidas à água de rega do Pinheiro, girassol, embora tenha havido escorrência superficial da água da cultura do milho, localizada a montante em cotas mais elevadas.

Quadro 3 - Datas e dotações de rega na cultura do girassol em 2006, Monte do Pinheirinho

Data	Dotação l/m ²
09-05-2006	8
11-05-2006	8
24-05-2006	9
26-05-2006	5
09-06-2006	10
11-06-2006	10
22-06-2006	10
24-06-2006	10
29-06-2006	9
07-07-2006	10
14-07-2006	10
25-07-2006	10
Dotação total	109

3.4 Modos de fertilização

No Monte da Mancoca foi realizada adubação de fundo aquando da sementeira. A fertilização de cobertura consistiu em várias fertirregas ao longo da campanha de rega com adubo líquido Humifosfato 15 que doseia 30% de azoto (cf. Fig. 4).

No Monte do Pinheirinho, na cultura do girassol, não foi realizada adubação de fundo nem de cobertura. Na cultura do milho foi realizada uma adubação localizada aquando da sementeira (24 de Maio) com adubo líquido Humifosfato 15, que consistiu na aplicação de 600 l/ha e diversas adubações de cobertura de adubo líquido, conforme se pode verificar da análise da Fig. 5.

4 Metodologias para a caracterização físico-química das parcelas

4.1 Solos

4.1.1 Critérios para a selecção dos locais de amostragem

A amostragem de solos antes do início dos ensaios de campo de 2006 teve como objectivo recolher amostras não perturbadas para a determinação das curvas de tensão-humidade e de

densidade aparente solo, e amostras de solo perturbadas para análise textural das parcelas a estudar. Colaboraram no processo de amostragem do solo técnicos da Universidade de Évora (UE) e do LNEC.

Foram seleccionados dois locais em cada parcela de ensaio (Montes da Mancoca e Pinheirinho) para a recolha das amostras. A selecção dos locais de amostragem foi efectuada com base nos seguintes critérios: (1) respeitar o interesse de obtenção de informação nas manchas de solo mais representativas localizadas na área regada pelo "pivot", dada a heterogeneidade de solos nessas áreas (2) ser, à partida, o local onde previsivelmente se iriam instalar os ensaios experimentais durante a campanha de rega.

Assim, em cada um desses locais e com recurso a um martelo pneumático (Fig. 6), colheram-se duas repetições em cilindros de 99,2 cm³, R1 (dap) e R2 (pF), em patamares, correspondentes a níveis representativos das camadas do perfil, localizados à profundidade de 0 - 15 cm, 15 - 30 cm, 30 - 45 cm, 45 - 60 cm e 60 - 75 cm.



Fig. 6 - Recolha de monolitos de solo pelos técnicos da Universidade de Évora

4.1.2 Textura

Nos mesmos locais - Montes da Mancoca e Pinheirinho, para a determinação das classes texturais do solo (areia grossa, areia fina, limo e argila) no Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora, procedeu-se à recolha de amostras de solo perturbadas nas diferentes camadas do solo, em tarolos de 15 cm até à profundidade de 90 cm, também com o martelo pneumático.

As várias classes texturais são definidas segundo a escala de Atterberg (1911), recomendada pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo. Esta escala divide as partículas de solo de diâmetro inferior a 2 mm em quatro lotes, como se apresenta no Quadro 4.

Quadro 4 - Escala de Atterberg (Costa, 1999)

Designação dos lotes	Diâmetro das partículas (mm)
Areia grossa	2 – 0,2
Areia fina	0,2 – 0,02
Limo	0,02 – 0,002
Argila	< 0,002

A determinação dos lotes de areia grossa e fina é feita por análise mecânica. Para determinação dos lotes de limo e argila, recorreu-se a um sedimentógrafo de raios X (sedigraph 5100).

4.1.3 Densidades aparente e real e porosidade

A densidade aparente pode ser definida como a relação entre o peso de uma amostra de solo seco e o volume total ocupado pela amostra (copo cilíndrico) incluindo os vazios.

$$\rho_b = W_d / V_r$$

onde:

ρ_b - densidade aparente (g/cm³)

W_d - peso da amostra de solo seca (g)

V_r - volume total ocupado pela amostra (cm³)

A densidade aparente geralmente aumenta com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores provocando a compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores também contribui para a redução dos espaços porosos aumentando a densidade aparente dessas camadas.

A densidade real, medida em vácuo, foi calculada pelo Laboratório de Solos da Universidade de Évora através do uso de um picnómetro. Mais informação sobre o funcionamento detalhado deste aparelho, bem como os processos de cálculo associados pode ser encontrada em: <http://www.micronal.com.br/artigostecnicos/densidade.htm>, entre outros.

A porosidade de um solo pode definir-se como a relação entre o volume de interstícios numa dada amostra de um meio poroso e o volume total do meio poroso, incluindo os espaços vazios. No caso dos solos estudados, a porosidade (n) foi calculada com base na diferença entre as duas densidades, determinadas através da seguinte fórmula:

$$n = [(\rho_r - \rho_b) / \rho_r] * 100$$

onde: ρ_r - densidade real (g/cm³) e ρ_b - densidade aparente (g/cm³)

4.1.4 Teor de humidade, armazenamento de água no solo e carga hidráulica

Para acompanhar a variação do teor de humidade, do armazenamento de água no solo e da carga hidráulica em profundidade e ao longo do tempo, nas três modalidades, foram instalados os seguintes equipamentos:

- um tubo PVC instalado a 70 cm de profundidade, colocado na entre-linha da cultura, para medição da humidade do solo com o sistema TRIME (TDR);
- 2 baterias de tensiómetros, constituída por 3 tensiómetros instalados na entre-linha à profundidades de 20, 40 e 60 cm.

4.1.5 Desenvolvimento radical

Para observar e quantificar o desenvolvimento radical da cultura do milho, nas diferentes unidades pedológicas, comparando com a técnica de sementeira e disponibilidade de água no solo, utilizou-se o método do minirizotróo (cf. Fig. 7) nas modalidades MMAFC e PMALC, com o qual é possível acompanhar as variações temporais e espaciais do desenvolvimento da cultura.

O método do minirizotróo necessita de um tubo de acesso em acrílico (cf. Fig. 7) que é instalado no solo com uma inclinação de 30º, na linha de cultura. Este tubo permite a observação visual das raízes que o intersectam, recorrendo a um endoscópio (Toureiro, 2003). Este está equipado com uma câmara de vídeo (*BTC Minirhizotron Camera Systems*) (cf. Fig. 8) que permite a visualização da imagem das raízes que intersectam a parede do tubo, permitindo registar essa observação numa base de dados de imagens (em formato *jpg*) para posterior análise de parâmetros fisiológicos: comprimento, área e diâmetro, recorrendo a um software específico – *RooTracker Digital Image* (Ducke University). O equipamento utilizado pertence à Universidade de Évora.



Fig. 7 - Tubo de acesso para o minirizotróo, em acrílico

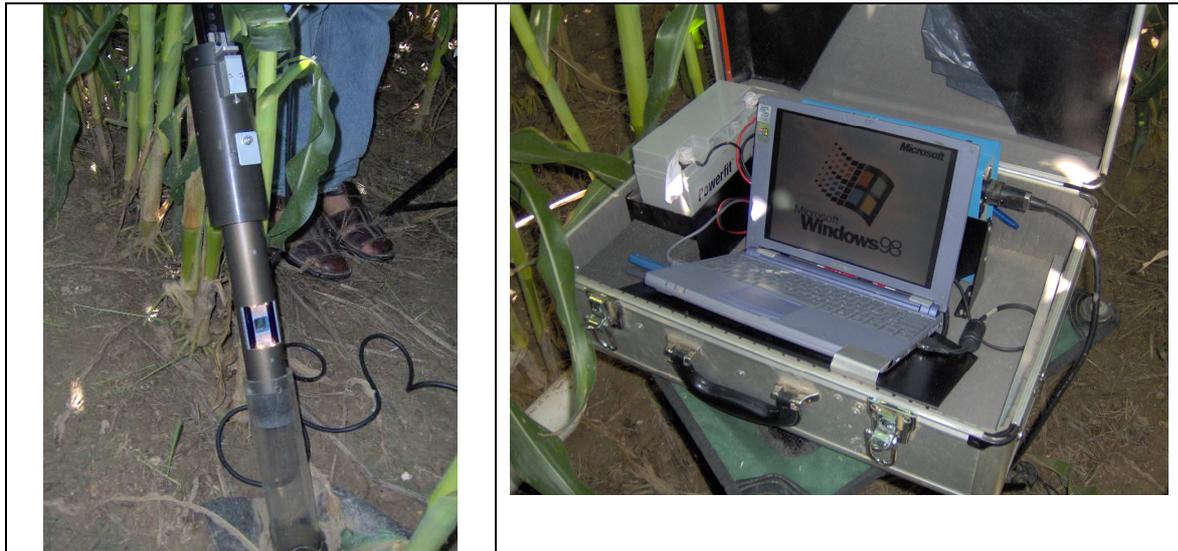


Fig. 8 - Endoscópio BTC Minirhizotron Camera Systems e respectivo sistema de leitura

4.1.6 pF

A obtenção dos pontos da curva pF, está ainda a ser feita no Laboratório de Solos da Universidade de Évora determinando-se o teor de humidade retido nas amostras em equilíbrio com pressões conhecidas. Será utilizado um método combinado da caixa de areia para valores de pF < 2,0, o método da placa para valores de pF compreendidos entre 2,54 e 3,0, e o aparelho de membrana de pressão para valores de pF entre 3,5 e 4,2.

4.1.7 Concentração iónica

Os solos foram, também, recolhidos a diversas profundidades e locais, antes e depois dos ensaios e, em alguns durante os ensaios em áreas contíguas aos locais instrumentados. Cada amostra de solo era formada por 3 sub-amostras, recolhidas em 3 locais próximos à mesma profundidade, posteriormente acondicionadas em sacos de plástico e colocadas em malas térmicas para minimizar as trocas de azoto durante a permanência no campo e o transporte para o laboratório responsável pelas análises químicas (EGI, Ambiente, Lda.).

As amostras de solos destinaram-se à análise de um conjunto vasto de elementos químicos (iões maiores, fosfatos e nitratos), pH, condutividade eléctrica, entre outros, para estudo da migração dos mesmos em profundidade.

4.1.8 Capacidade de troca catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC) ou troca catiónica (T), expressa a quantidade máxima de catiões que podem ser retidos pelos minerais de argila para neutralizar as cargas negativas de uma quantidade unitária de solo, em determinadas condições, e é calculada pela seguinte expressão (Costa, 1999):

$$CTC = S + H^+$$

onde:

CTC - Capacidade de Troca Catiónica (meq/l) = CTC total do solo (pH 7)

S - Soma das bases de troca (meq/l)

H⁺ - Acidez de troca

A soma das bases de troca (S) é a soma dos valores em meq/l dos vários catiões de troca (Ca²⁺; Mg²⁺; K⁺; Na⁺) que expressa quantitativamente as bases de troca. Na prática, a soma das bases de troca revela se a CTC será elevada ou baixa.

Grau de saturação com bases de Hissink

O grau de saturação (V), traduz a percentagem de capacidade de troca que é satisfeita pelas bases de troca catiónicas e é dada pela seguinte expressão:

$$V = \frac{S}{T} \times 100$$

onde:

V - Grau de saturação (%)

S - Soma das bases de troca (meq/l)

T - Troca catiónica (meq/l)

4.2 Águas

4.2.1 Critérios para a selecção dos locais de amostragem

Os locais para a amostragem de águas foram seleccionados tendo em vista a análise dos efeitos dos processos culturais na sua evolução da sua qualidade ao longo dos ensaios. Esta análise foi efectuada à macro escala, i.e. na área circundante às parcelas e à escala local, i.e. no interior das parcelas.

A primeira escala referida, área circundante às parcelas, dificilmente conseguirá reproduzir

em tempo real os efeitos específicos das culturas em análise na qualidade das águas, uma vez que a sua qualidade também reproduzirá os efeitos de outras actividades agrícolas em curso naquela bacia hidrográfica. Contudo, os seus valores poderão auxiliar a interpretação global da evolução da qualidade das águas na bacia. Os locais seleccionados são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Locais de amostragem de águas na área circundante às parcelas

Águas subterrâneas	Poço 9
	Poço 30
	Piezómetro 1 (M. ^{te} do Pardieiro - EDIA)
	Piezómetro 6 (M. ^{te} da Amendoeira - EDIA)
Águas superficiais	Est. Hidrométrica
	Ribeira de Canhestros
	Ribeira de Sanfrins
Canal de Rega	Canal de Rega
Vala de drenagem	Vala de drenagem

Relativamente à qualidade das águas no interior das parcelas, foram analisados em cada um dos três casos de estudo, os valores de (Quadro 6): água de escorrência à superfície do solo (em dois anéis ou talhões de escorrência); água da zona vadosa a três profundidades diferentes (através de seis cápsulas de Teflon®, duas a cada profundidade) e na zona saturada, em dois piezómetros localizado a jusante dos ensaios instalados para este estudo em cada uma das duas parcelas.

Quadro 6 - Locais de amostragem de águas no interior das parcelas

LOCAL	MEIO ANALISADO	INSTRUMENTO DE MONITORIZAÇÃO
Mancoca (milho)	Água de escorrência	Anel escorrência 1 Anel escorrência 2 Anel escorrência 3
	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Água subterrânea	Piezómetro
Pinheirinho (milho)	Água de escorrência	Talhão escorrência 1 Talhão escorrência 2
	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Água de escorrência	Anel escorrência 1 Anel escorrência 2
Pinheirinho (girassol)	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Água subterrânea	Piezómetro

4.2.2 SAR

A aptidão das águas para uso agrícola foi efectuada através da classificação das águas para rega, baseada nos valores de condutividade e índice de adsorção de sódio - SAR (Custódio e Llamas, 1976). De acordo com Custódio e Llamas (1976) este índice traduz o efeito da concentração relativa de cationes na acumulação de sódio no solo e é calculado pela seguinte fórmula:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

sendo as concentrações expressas em miliequivalentes por litro (meq/L).

Projectando os valores num diagrama de Riverside como o da Fig. 9, onde a condutividade se representa no eixo dos xx e o SAR no eixo dos yy, estabelece-se uma das 16 possíveis categorias de água. Estas categorias são uma combinação das diferentes classes de perigo de salinização de solo (C) e perigo de alcalinização do solo (S). Segue-se uma sumária descrição de cada uma destas classes.

Perigo de salinização:

C1 – águas de baixa salinidade que podem ser usadas para irrigação na maior parte das culturas em quase todos os solos sem que haja perigo de salinização;

C2 – águas de salinidade média que podem ser usadas em solos com um grau de lixiviação moderado e culturas com alguma tolerância aos sais;

C3 – águas muito salinas que não devem ser usados em solos com drenagem deficiente;

C4 – águas que apresentam um perigo de salinização muito alto e que em condições normais não devem ser usadas para rega.

Perigo de alcalinização:

S1 – águas com baixo teor de sódio que podem ser usadas em quase todos os solos sem dar origem a níveis perigosos deste elemento;

S2 – água que apresentam um teor médio de sódio que pode causar problemas de alcalinização em solos de textura fina com baixa lixiviação;

S3 – águas com um teor elevado de sódio podendo causar problemas de alcalinização. O seu uso requer condições especiais como boa drenagem, lixiviação intensa e adição de matéria orgânica;

S4 – águas com um teor muito alto em sódio e que não devem ser usadas para rega.

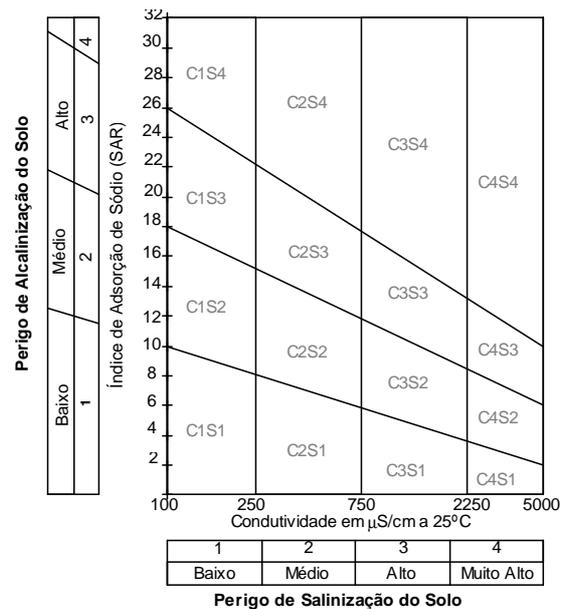


Fig. 9 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola (Riverside), segundo o U. S. Salinity Laboratory (1954)

4.2.3 Concentrações iónicas e condutividade eléctrica

Foram efectuados dois tipos de medições nas águas recolhidas nas diversas campanhas realizadas: medições de parâmetros físico-químicos gerais, no local, e análise químicas diversas, posteriormente em laboratório.

As medições no campo incluíram: volume e/ou nível piezométrico (se aplicável); condutividade eléctrica; pH; Eh e temperatura. As análises em laboratório incidiram sobre os seguintes parâmetros, nem sempre analisados, não só como consequência de não haver volume de amostra disponível, mas também por não se justificar para todos os meios e ensaios: nitratos; nitritos; amónio; flúor, cálcio, magnésio; sódio; potássio; bicarbonato; sulfato; cloreto; matéria orgânica, sílica e zinco.

As análises físico-químicas foram realizadas no laboratório da EGI Ambiente (<http://www.egi.pt/index.php>) e, para o caso dos piezómetros, no Departamento de Hidrogeologia do INETI-DH.

5 Esquema experimental de colheita de dados de qualidade

5.1 Modalidades ensaiadas

A escolha das modalidades e das culturas instaladas teve em conta as indicações da gestão da rega dadas pelos proprietários das parcelas para a campanha de rega de 2006 e está descrita em maior pormenor no capítulo 3.

Foram estabelecidas três modalidades nas parcelas experimentais (Quadro 7).

Quadro 7 - Modalidades ensaiadas nos trabalhos de campo de 2006

Localização	Modalidades	Descrição da modalidade
Monte da Mancoca	MMAFC	Milho, com adubação de fundo e cobertura (fertilirrigação)
	PMAFLC	Milho, com adubação de fundo localizada e cobertura (fertilirrigação)
Monte do Pinheirinho	PGSAFC	Girassol, sem adubação de fundo e sem cobertura

O esquema experimental montado nas três áreas regadas, descrito nas próximas secções, teve como objectivo base a colheita de amostras de solo e de águas para análise química ao longo do período de ensaio e em vários locais, dentro e fora das parcelas.

5.2 Qualidade dos solos

A análise da qualidade química dos solos das três áreas em estudo visou, em primeiro lugar, avaliar as suas características antes e depois das campanhas de rega e, assim, complementar o estudo da qualidade das águas da zona vadosa e águas subterrâneas. A análise global da qualidade química dos solos e águas foi orientada de acordo com os elementos potencialmente poluentes provenientes da aplicação de herbicidas, insecticidas, fertilizantes e água de rega.

Em face dos objectivos propostos no Plano de Trabalhos de Campo e Laboratório para 2006, apresentado no 1.º Relatório, a amostragem de solos dividiu-se em duas campanhas distintas (Quadro 8): 1) a primeira onde foram recolhidos solos nas três parcelas de estudo, realizou-se no dia 18 de Maio, com a colaboração de técnicos da Universidade de Évora e do LNEC, às profundidades de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm e de 40 – 60 cm; 2) a segunda realizou-se nos mesmos locais e às mesmas profundidades, no dia 10 de Outubro, após a colheita.

Quadro 8 - Plano de amostragem de solos para determinação de parâmetros químicos nas três modalidades, antes e depois dos ensaios

Data da recolha	Local de amostragem	Prof.	Parâmetros químicos a analisar									
		cm	NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3	SO4	Cl
2006-05-18 1.ª campanha	Mancoca	0 - 20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Pinheirinho (Milho)	20 - 40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Pinheirinho (Girassol)	40 - 60	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Após a colheita 2.ª campanha	Mancoca	0 - 20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Pinheirinho (Milho)	20 - 40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Pinheirinho (Girassol)	40 - 60	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

5.3 Qualidade das águas

5.4.1 Área circundante às parcelas

A recolha de amostras de água foi efectuada não apenas no interior das parcelas, conforme se descreve na secção 5.4.2, mas também na área circundante às parcelas, de forma a permitir observar a evolução da qualidade das águas em termos da pequena bacia hidrográfica onde se insere (*cf.* Fig. 1).

Foram efectuadas amostragens nos seguintes locais (Fig. 10): 1) águas subterrâneas (2 poços tradicionais e 2 piezómetros); 2) ribeiras de Sanfrins e Canhestros; 3) valas de drenagem e 4) canal de rega.

As amostragens foram realizadas com uma periodicidade aproximadamente mensal. Durante a campanha de rega (Abril a Setembro) foram intensificadas as amostragens em datas diferentes. Essas novas campanhas foram efectuadas pelo LNEC e consistiram na monitorização de parâmetros físico-químicos de campo (condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura).

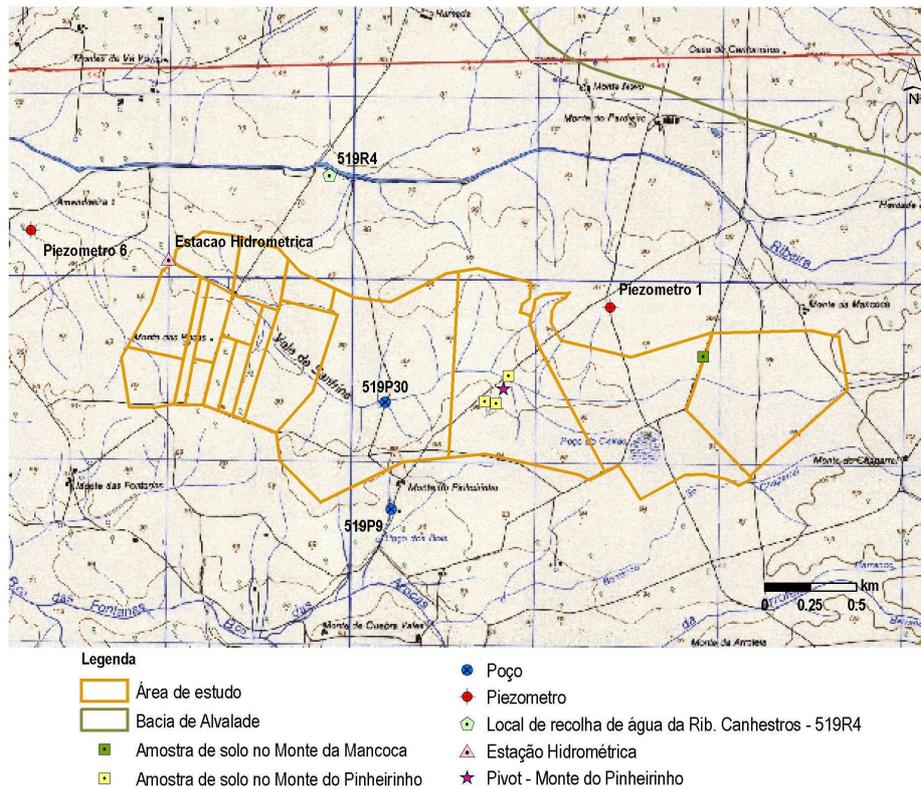


Fig. 10 - Infra-estruturas de monitorização na área de estudo

5.4.2 Interior das parcelas

Em cada uma das três parcelas, e para cada modalidade, foram seleccionados locais para a monitorização da qualidade das águas, incluindo águas: de escorrência; da zona vadosa; subterrânea e superficial, onde foram instalados vários tipos de equipamentos abaixo descritos.

Todas as amostras de água recolhidas foram colocadas em garrafas de aproximadamente 300 ml de capacidade e acondicionadas numa mala térmica durante a permanência no campo. Uma vez em laboratório foram congeladas até à sua análise química.

5.4.2.1 Água de escorrência

A análise da água de escorrência nos 3 casos de estudo foi efectuada através de dois tipos de instrumentos: anéis e talhões de escorrência (*cf.* Fig. 11). Em ambos os casos, estes instrumentos servem para canalizar a água de escorrência de uma determinada área com vista a analisar o seu volume e qualidade. Tanto os anéis como os talhões estão ligados por um tubo a um depósito de 10 l, colocados em posição inferior ao nível do solo, de modo a que a água escoe para o seu interior. Os anéis de escorrência têm uma área de 0,64 m² (diâmetro interno de aproximadamente de 45 cm) e os talhões de escorrência têm uma área maior de cerca de

1,65 m² (1,5 x 1,1 m).

Foram instalados 2 anéis de escorrência em cada uma das modalidades MMAFC e PGSAFC (Quadro 7) e na modalidade MAFLC foram instalados talhões de escorrência.



Fig. 11 - Anel de escorrência para amostragem de água superficial no Monte da Mancoca

As amostras de água recolhidas semanalmente permitiram a análise de nitratos e, também, o registo no local dos valores da condutividade eléctrica, do pH, do Eh e da temperatura.

5.4.2.2 Água da zona vadosa

A análise dos processos de migração da água e a evolução da sua qualidade em profundidade, através da zona vadosa, foi efectuada com recurso à instalação de cápsulas de Teflon® a diversas profundidades nas áreas de ensaio. O princípio de recolha de águas intersticiais através destas cápsulas porosas (*cf.* Fig. 12) é a aplicação de uma tensão negativa à cápsula capaz de induzir a entrada da água do solo na sua vizinhança para dentro da garrafa isolante de amostragem. Esta água é posteriormente amostrada para medições no local e para análise laboratorial.



Fig. 12 - Instalação das cápsulas de Teflon® no Monte da Mancoca

Em cada uma das três parcelas foram instaladas seis cápsulas de Teflon® às profundidades de 20, 40 e 60 cm, onde foram recolhidas, semanalmente e ao longo da campanha de rega, amostras da solução do solo.

Foram registados no local, pelo LNEC, os valores da condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura. Os parâmetros NO_2 , NO_3 , PO_4 , Ca, Mg, Na, K, CO_3 , SO_4 , Cl e COT foram analisados mensalmente através de análises químicas laboratoriais efectuadas pela EGI, Ambiente.

5.4.2.3 Águas subterrâneas

Com o objectivo de criar infra-estruturas capazes de proporcionar a recolha de amostras representativas das águas subterrâneas dentro das parcelas regadas foram construídos 2 piezómetros de monitorização (Fig. 13) às profundidades de 2,38 m no Monte do Pinheirinho, no dia 11 de Abril, e de 1,30 m no Monte da Mancoca, no dia 3 de Maio, próximo das respectivas valas de drenagem.

A instalação dos piezómetros foi efectuada com o equipamento amavelmente

disponibilizado pelo Centro Operativo de Técnicas de Regadio (COTR), e contou com a participação de três equipas: Universidade de Évora, COTR e LNEC.



Fig. 13 - Instalação dos piezómetros

A monitorização ao longo da campanha de rega foi feita pelo LNEC, semanalmente, e teve o seguinte conjunto de medições:

- Medição dos níveis piezométricos;
- Registo no local dos valores da condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura;
- Recolha de amostras de água para análise de nitratos.

As medições semanais visaram o acompanhamento das variações nos parâmetros referidos e permitem, também, analisar as correlações rega/recarga e fertilizações/teor de nitratos na água subterrânea.

Além da monitorização semanal foram, igualmente, recolhidas uma vez por mês amostras para análise química laboratorial pelo laboratório do INETI, DH.

6 Resultados obtidos e sua análise preliminar

6.1 Solos

6.1.1 Textura

Os resultados da análise textural dos solos da modalidade MMAFC (Monte da Mancoca) e PMALC (Monte do Pinheirinho), recolhidos em 20 de Fevereiro, e analisados pelo Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora são apresentados nos Quadro 9 e Quadro 10, e na Fig. 14.

Quadro 9 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (MM)

Profundidade (cm)	CLASSES TEXTURAIIS				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	Areia grossa	Areia fina	Limo	Argila	
0-15	66	13,36	2,84	18,22	Franco-arenoso
15-30	68	14,99	2,92	14,51	Franco-arenoso
30-45	74	11,43	3,73	10,63	Arenoso-franco
45-60	54	11,81	3,00	31,20	Franco-argilo-arenoso
60-75	45	11,11	6,80	37,21	Argilo-arenoso

Quadro 10 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (PM)

Profundidade (cm)	CLASSES TEXTURAIIS				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	Areia grossa	Areia fina	Limo	Argila	
0-15	58,4	8,9	3,9	28,8	Franco-argilo-arenoso
15-30	55,5	11,8	2,7	30,1	Franco-argilo-arenoso
30-45	63,7	11,1	1,5	23,8	Franco-argilo-arenoso
45-60	63,1	13,7	1,2	22,1	Franco-argilo-arenoso
60-75	43,3	12,1	6,5	38,1	Argilo-arenoso

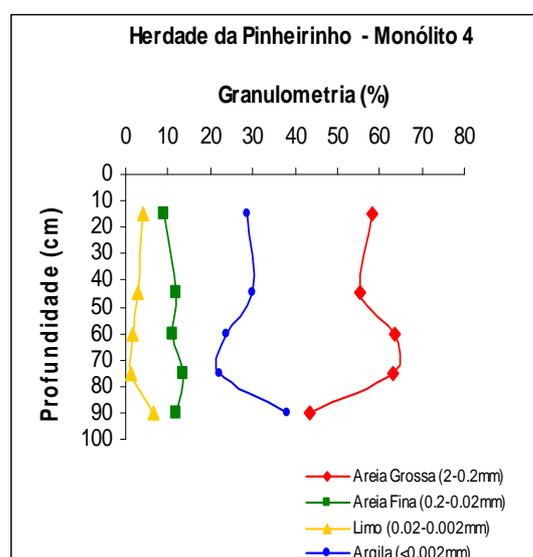
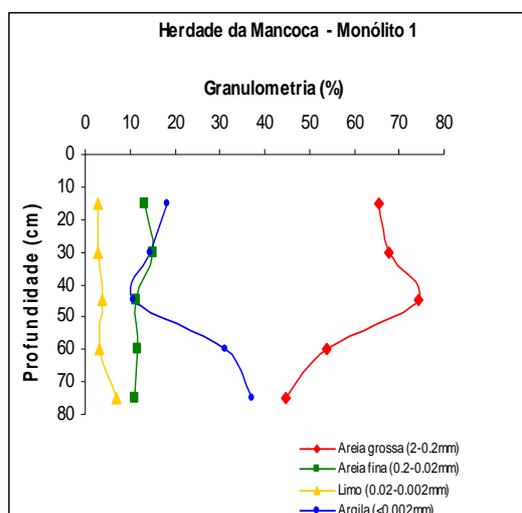


Fig. 14 - Percentagem granulométrica de amostras de solo colhidas a diferentes profundidades nos Montes da Mancoca e Pinheirinho

A observação dos quadros e da figura permite verificar que o solo da Mancoca apresenta uma textura essencialmente franco-arenosa nos primeiros 45 cm do horizonte do solo, profundidade a partir da qual surge uma camada mais impermeável de textura franco-argilo-

arenosa que passa depois a argilo-arenosa. Esta variação tem como consequência a formação de um nível de água localmente muito elevado onde são retidas as águas de rega, com consequências importantes ao nível da concentração de sais, conforme se verá mais à frente neste relatório.

Em relação ao solo do Pinheirinho, regista-se estarmos em presença de uma textura franco-argilo-arenoso que passa a argilo-arenoso dos 60 a 75 cm. Em termos gerais, a permeabilidade destes solos é claramente inferior aos da Mancoca, aspecto que dificulta a infiltração das águas e favorece a escorrência superficial.

6.1.2 Densidade aparente e real e porosidade

Os resultados da densidade aparente dos solos do Monte da Mancoca e Monte do Pinheirinho, recolhidos a 20 de Fevereiro, e analisados pelo Laboratório de Solos da Universidade de Évora, são apresentados nos Quadro 11 e Quadro 12. Os resultados foram determinados através das fórmulas apresentadas na secção 4.1.3, atendendo a que o volume total ocupado pelos cilindros das amostras (*cf.* Fig. 6) é 99,2 cm³.

Quadro 11 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte da Mancoca

Profundidade	Peso seco total (g)	Tara (g)	Peso seco (g)	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Porosidade (%)
0-15	324,576	144,188	180,388	1,82	2,49	29,76
15-30	322,573	143,981	178,592	1,80	2,51	20,34
30-45	322,629	143,658	178,971	1,80	2,58	22,24
45-60	321,21	144,288	176,922	1,78	2,32	26,00
60-75	318,909	142,449	176,46	1,78	2,42	28,85

Quadro 12 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte do Pinheirinho (milho)

	Peso seco total (g)	Tara (g)	Peso seco (g)	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Porosidade (%)
0-15	322,247	144,441	177,806	1,79	2,59	30,80
15-30	322,74	144,172	178,568	1,80	2,26	20,35
30-45	-	-	-	-	-	-
45-60	317,276	144,653	172,623	1,74	2,41	27,79
60-75	328,743	144,629	184,114	1,86	2,50	25,76
75-90	335,321	145,989	189,332	1,91	-	-

6.1.3 Desenvolvimento radical

Na Fig. 15 são apresentadas imagens das raízes da cultura do milho, captadas através da câmara digital de vídeo *BTC Minirhizotron Camera Systems* (cf. secção 4.1.5) a 22 de Agosto, até à profundidade de 30 cm nas modalidades MMAFC (Mancoca, milho, adubação de fundo e cobertura) e PMAFLC (Pinheirinho, milho, adubação de fundo localizada e cobertura).

O estágio de desenvolvimento da cultura, tanto para a modalidade MMAFC, como para a modalidade PMAFLC, verifica-se 90 dias após a sementeira (formação do grão). Em ambos os casos já se tinham passado 90 dias, na medida em que a data de sementeira da Mancoca foi a 29 de Abril e do Pinheirinho foi a 29 de Maio.

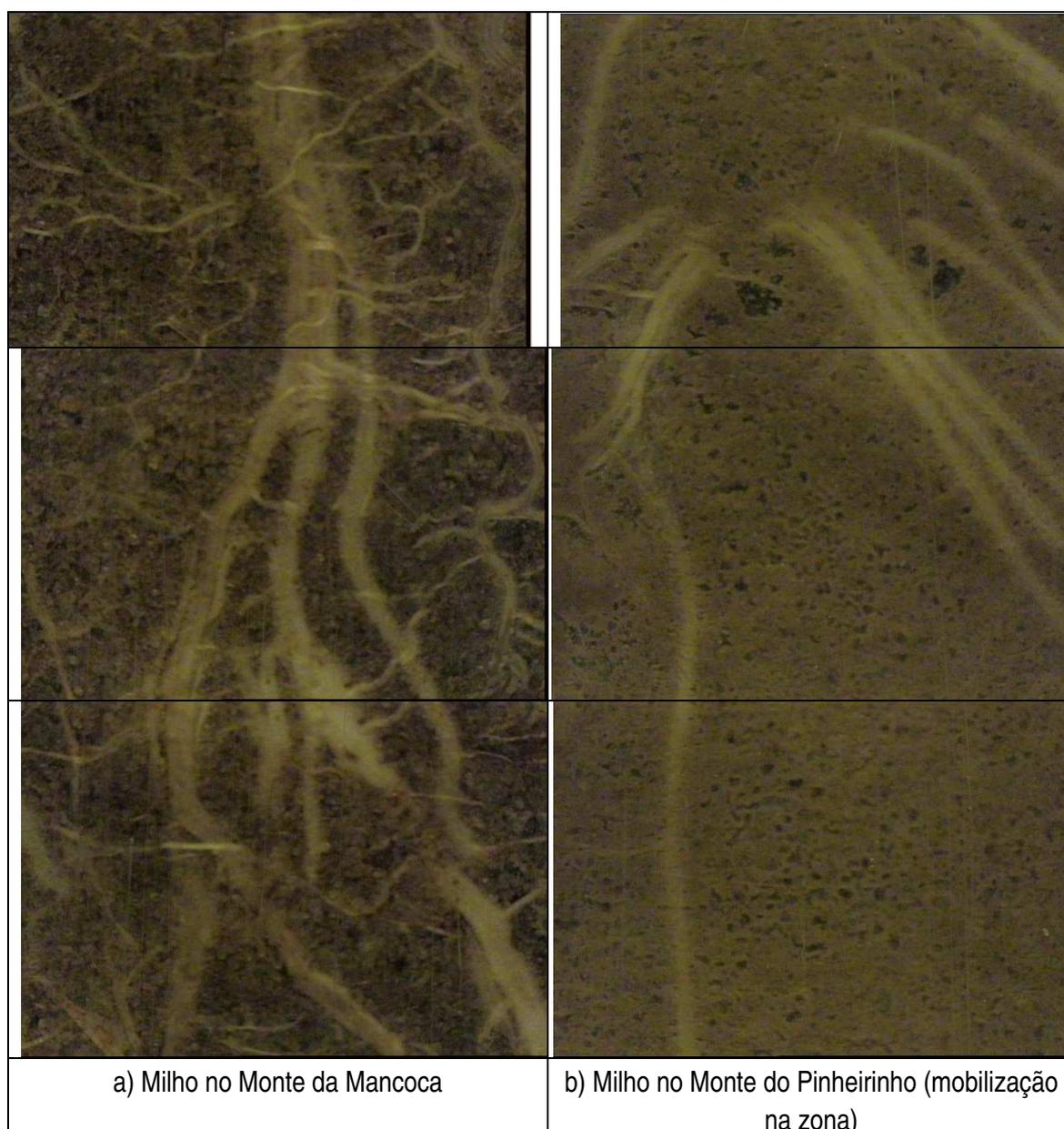


Fig. 15 - Desenvolvimento radical observado no dia 22 de Agosto de 2006

Os resultados apresentados na Fig. 15 para a cultura do milho, mostram que a densidade radical verificada aos 30 cm do perfil do solo (horizonte A), se destacou na modalidade MMAFC, face à modalidade PMAFLC, onde se praticou a sementeira com mobilização na zona. A dificuldade de penetração das raízes no perfil do argiloso do solo nesta modalidade fez com que o sistema radical das plantas se desenvolvesse sobretudo na camada superficial, não havendo desta forma uma exploração adequada da água em profundidade.

Abaixo desta camada de solo, a densidade radical diminui substancialmente nas duas modalidades, sendo mais notória na modalidade PMAFLC. No entanto, o aprofundamento radical verificado na cultura do milho no Monte do Pinheirinho está directamente relacionado com a prática da mobilização na zona nesta modalidade, induzindo as culturas a desenvolver o sistema radical de forma a poder atingir camadas inferiores, satisfazendo as suas necessidades hídricas.

6.1.4 Concentração iónica

No Quadro 13 apresentam-se os resultados obtidos para a qualidade dos solos antes do início dos ensaios, nos três locais de estudo ensaiados em 2006.

Quadro 13 - Resultados da qualidade das amostras de solos das três parcelas

Data da recolha	UTM	Prof.	Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente											
			mg/Kg									%		
Mancoca (milho)														
18 Maio		cm	NO ₂	NO ₃	PO ₄	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃	COT	
	571864	0 - 20	0,24	50	<5,0	1200	760	120	190	140	<100	0,35	1,0	
	4209406	20 - 40	0,28	20	<5,0	1700	1200	160	230	280	<100	0,35	0,63	
		40 - 60	0,22	17,2	<5,0	1900	1500	220	210	120	<100	0,35	0,4	
Pinheirinho (milho)														
		0 - 20	0,2	80	<5,0	992	490	87	230	120	<100	0,53	0,84	
		20 - 40	0,2	42	<5,0	520	360	74	160	184	<100	0,7	0,6	
		40 - 60	0,2	24	<5,0	2200	1900	150	430	158	<100	1,2	0,48	
Pinheirinho (girassol)														
	570801	0 - 20	0,2	36	<5,0	390	270	87	110	120	<100	0,7	0,79	
	4209458	20 - 40	0,2	26	<5,0	510	320	74	110	120	<100	0,53	0,64	
		40 - 60	0,2	22	<5,0	750	510	150	140	176	<100	0,35	0,39	

A Fig. 16 apresenta um gráfico com a variação da qualidade dos solos nas três parcelas para os diferentes elementos referidos no Quadro 13. Para cada elemento é apresentada a concentração a 0 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 60 cm.

Os dois solos do Pinheirinho apresentam características diferentes dentro de uma mesma mancha de solo (*cf.* Fig. 16). São notórias as maiores concentrações em catiões e um brusco aumento dos mesmos na camada mais profunda, possivelmente resultante do aumento do teor em argilas com a passagem de um solo franco-argilo-arenoso para um solo argilo-arenoso (*cf.* Quadro 10). É natural que as maiores concentrações nestes elementos se devam também a excedentes de fertilizações anteriores.

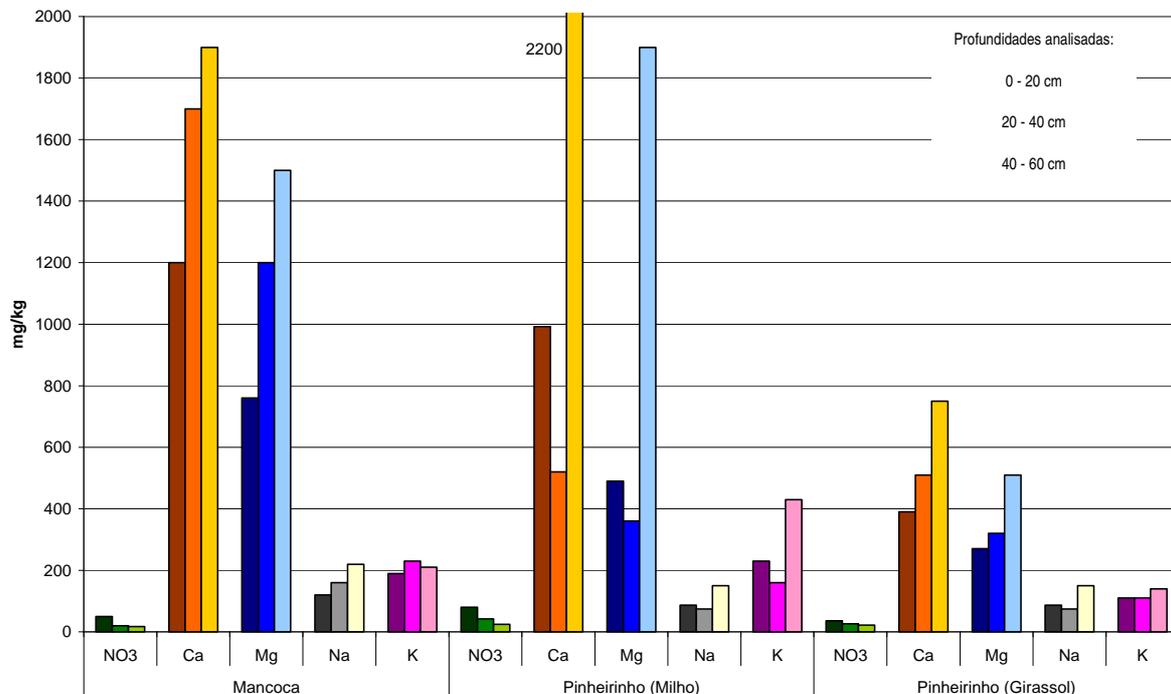


Fig. 16 - Resultados da qualidade dos solos para os catiões maiores e nitrato, nas três áreas de estudo, antes da sementeira

De facto, os locais de estudo da Mancoca e do Pinheirinho (milho) têm sido habitualmente utilizados para fins agrícolas, pelo que as análises dos solos antes da sementeira contêm já elementos resultantes de culturas anteriores.

Um outro aspecto que ressalta da análise da Fig. 16 é o maior teor em nitratos no primeiro horizonte do solo, decrescendo depois em profundidade. As concentrações antes da sementeira revelam-se já bastante elevadas com teores que oscilam entre 17 e 80 mg/kg.

O solo da Mancoca apresenta-se com teores mais elevados de cálcio e magnésio que os solos do Pinheirinho, possivelmente devido ao tipo de solo argiloso original. Contudo, neste estudo não foram feitas análises do tipo de argilas em presença, uma vez que o principal objectivo destas análises prende-se com o estudo da sua evolução antes e depois da cultura. Esta última será efectuada no próximo relatório, após se obterem os resultados das análises de solos, de momento em execução.

6.1.5 Capacidade de troca catiónica

O cálculo da capacidade de troca catiónica (CTC) foi efectuado de acordo com a formulação apresentada na secção 4.1.8. Os Quadros 14 a 16 apresentam os resultados obtidos para os solos das três parcelas.

Quadro 14 - Valores de: soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Mancoca milho)

Profundidade (cm)	S meq/100 g	CTC meq/100 g	V (%)	Proporção relativa de bases de troca (%)			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0 - 20	13,24	20,24	65,41	45,33	47,06	3,94	6,08
20 - 40	19,62	26,22	74,83	43,32	50,13	3,55	4,99
40 - 60	23,29	30,09	77,40	40,79	52,79	4,11	3,86

Quadro 15 - Valores de: soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho milho)

Profundidade (cm)	S meq/100 g	CTC meq/100 g	V (%)	Proporção relativa de bases de troca (%)			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0 - 20	9,94	17,34	59,64	49,83	40,44	3,81	5,92
20 - 40	6,28	13,17	49,88	41,39	46,97	5,12	6,51
40 - 60	28,33	35,90	81,06	38,83	54,98	2,30	3,88

Quadro 16 - Valores de: soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho girassol)

Profundidade (cm)	S meq/100 g	CTC meq/100 g	V (%)	Proporção relativa de bases de troca (%)			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0 - 20	4,75	11,74	40,40	41,10	46,65	6,32	5,93
20 - 40	5,68	12,28	46,26	44,89	46,18	3,98	4,95
40 - 60	8,63	15,43	55,92	43,47	48,45	3,93	4,15

A base de troca que existe em maior quantidade neste solo é o magnésio, em todos os horizontes, sendo o catião que mais contribui para a soma das bases de troca e para o aumento do valor de CTC.

Os valores de CTC aumentam para os três solos à profundidade de 40 – 60 cm. Este facto atribui-se geralmente ao aumento do teor de argila nessas camadas subsuperficiais, uma vez que, a CTC tende a aumentar com a proporção de argila. No entanto, nestes casos específicos, os solos contam com a presença destes catiões não só provenientes dos solos propriamente ditos, mas também dos fertilizantes utilizados, pelo que não se encontra uma relação directa entre solos mais arenosos e menor presença de catiões ou menor CTC, muito pelo contrário, pois o solo da Mancoca, embora mais arenoso, apresenta as maiores CTC.

6.2 Águas

6.2.1 Área circundante às parcelas

6.2.1.1 Águas subterrâneas

No Quadro 17 são apresentados os resultados das análises químicas das amostras de águas subterrâneas, valores obtidos pelo Laboratório de Análise Físico-Química do Departamento de Hidrogeologia - INETI Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação. Os locais de amostragem referidos (dois poços e dois piezómetros) estão representados na Fig. 10.

A Fig. 19 apresenta uma projecção dos iões maiores num diagrama de Piper permitindo verificar tratarem-se de águas com uma fácies maioritariamente cloretada e/ou bicarbonatada cálcica e/ou magnésiana.

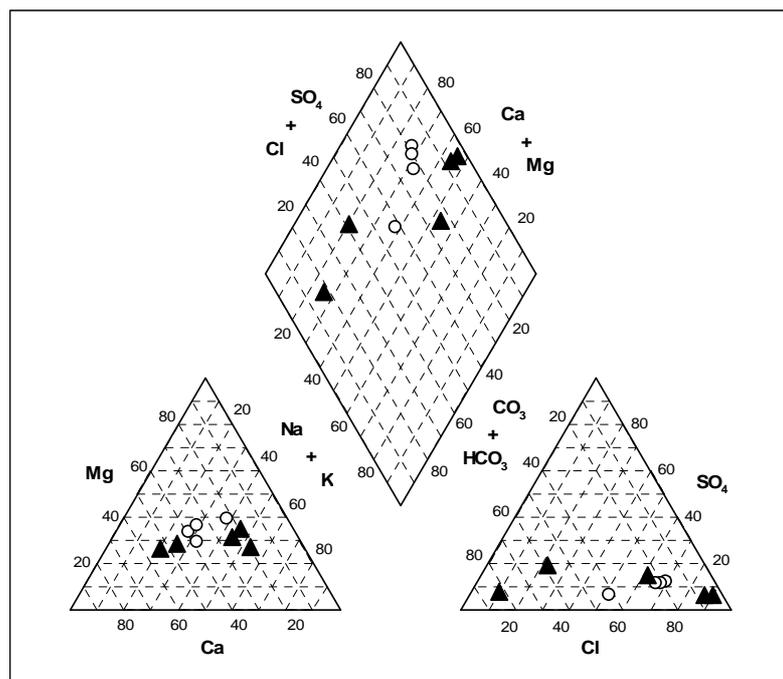


Fig. 17 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas da área circundante das parcelas nos piezómetros (círculos) e nos poços (triângulos)

A Fig. 18 apresenta os resultados obtidos para os catiões maiores e para o ião nitrato, seguindo de perto a análise realizada para os solos.

Quadro 17 - Resultados das análises efectuadas pelo INETI às águas subterrâneas da área circundante às parcelas

Data da recolha	Designação	Refª	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2	CE	
		mg/l																
		-																
		mS/cm																
3 de Maio de 2006	Poço 30	P30	063/06	20,51	Vestígios	Positivo	13,27	280,56	301,69	740,0	2,80	181,78	270,99	2650,18	4,4	7,20	0,10	6,02
3 de Maio de 2006	Poço 9	P9	064/06	12,99	Vestígios	Positivo	0,22	22,03	8,39	10,7	5,8	101,26	7,9	6,90	8,32	6,88	15,7	0,176
3 de Maio de 2006	Piezómetro6 (Mte. da Amendoeira-EDIA)	Pz6	068/06	13,69	Positivo	Positivo	4,6	198,00	101,41	155,00	0,4	319,64	163,84	714,08	0,56	6,94	31,59	2,17
16 de Maio de 2006	Piezómetro1 (Mte. do Pardieiro-EDIA)	Pz1	092/06	9,49	Negativo	Vestígios	0,85	76,15	83,42	152,00	1,70	497,76	60,39	360,36	0,48	6,99	32,28	1,588
16 de Maio de 2006	Piezómetro6 (Mte. da Amendoeira-EDIA)	Pz6	093/06	19,87	Negativo	Vestígios	1,47	168,34	105,34	158,00	0,50	326,96	148,10	645,39	0,88	6,96	18,50	2,170
16 de Novembro de 2006	Poço 30	P30	175/06	29,58	Negativo	Positivo	3,18	135,31	116,61	430,0	0,2	549,0	273,65	830,25	1,12	7,4	15,09	3,04
17 de Novembro de 2006	Piezómetro6 (Mte. da Amendoeira-EDIA)	Pz6	166/06	29,58	Negativo	Vestígios	0,6	187,57	87,07	182,5	1,7	366,0	143,83	633,04	3,36	7,24	26,49	2,26
17 de Novembro de 2006	Poço 9	P9	167/06	93,14	Negativo	Positivo	0,28	62,36	18,48	22,2	8,4	145,18	37,9	32,02	6,72	6,74	26,49	0,505
17 de Novembro de 2006	Poço 30	P30	168/06	15,44	Positivo	Positivo	0,5	229,26	180,94	480,0	3,1	210,45	153,44	1570,0	8,32	8,28	11,74	4,85

Quadro 18 - Resultados das análises efectuadas nas águas das ribeiras presentes na área circundante às parcelas

Data da recolha	Designação	Medições no campo				Sonda	Análises químicas efectuadas no IGM															
		CE	pH	Eh	T		NO3	Refª	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2
		mS/cm				mg/l																
		-				-																
		mS/cm																				
3 Maio de 2006	Rib. de Canhestros						066/06	15,92	Vestígios	Positivo	4,40	108,22	127,19	117,00	1,30	176,29	87,01	533,15	2,72	7,12	26,73	1,675
03 Maio de 2006	Est. Hidrométrica						069/06	16,72	Positivo	Positivo	6,57	261,16	134,73	355,00	5,20	541,68	170,32	1129,46	14,40	6,90	12,67	3,260
31 Maio de 2006	Rib. de Canhestros	2,63	7,23	298	20,8	16,4																
31 Maio de 2006	Rib. de Sanfrins	3,6	8,48	307	19,1	10,59																
16 Junho de 2006	Rib. de Canhestros	2,56	8,01	267	20,4																	
22 Junho de 2006	Rib. de Canhestros	2,55	8,18	191	-																	
22 Junho de 2006	Rib. de Sanfrins	-	-	-	-	5,47																
30 Junho de 2006	Rib. de Canhestros	2,6	8,01	307	19,2																	
30 Junho de 2006	Rib. de Sanfrins	4,04	8,72	177	32,4	15,79																
4 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	2,24	7,84	312	19,4																	
12 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	1,566	7,38	337	22,6	14,83																
18 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	1,246	8,29	220	26,6	11,05																
28 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	0,973	7,35	342	19,3																	
7 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	0,893	8,00	296	30,0	11,27																
18 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	2,52	8,02	275	20,1	18,69																
22 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	1,942	8,17	271	29,6	25,26																
22 Agosto de 2006	Rib. de Sanfrins	1,78	9,08	289	34,8	24,3	134/06	7,10	Vestígios	Positivo	0,30	70,86	71,26	128,00	4,00	134,20	59,80	420,21	8,72	8,60	1,99	1,690
30 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	2,5	7,88	228	23,0	28,33																
7 Setembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,54	7,57	346	21,1	16,93																
13 Setembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,48	8,13	319	15,0																	
10 Outubro de 2006	Rib. de Canhestros	2,53	8,16	312	19,7																	
16 Novembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,53	8,16	312	19,7																	
17 Novembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,53	8,16	312	19,7		169/06	30,34	Positivo	Positivo	1,15	129,86	102,78	120,0	5,0	433,1	103,9	412,99	5,44	7,1	22,34	1,763

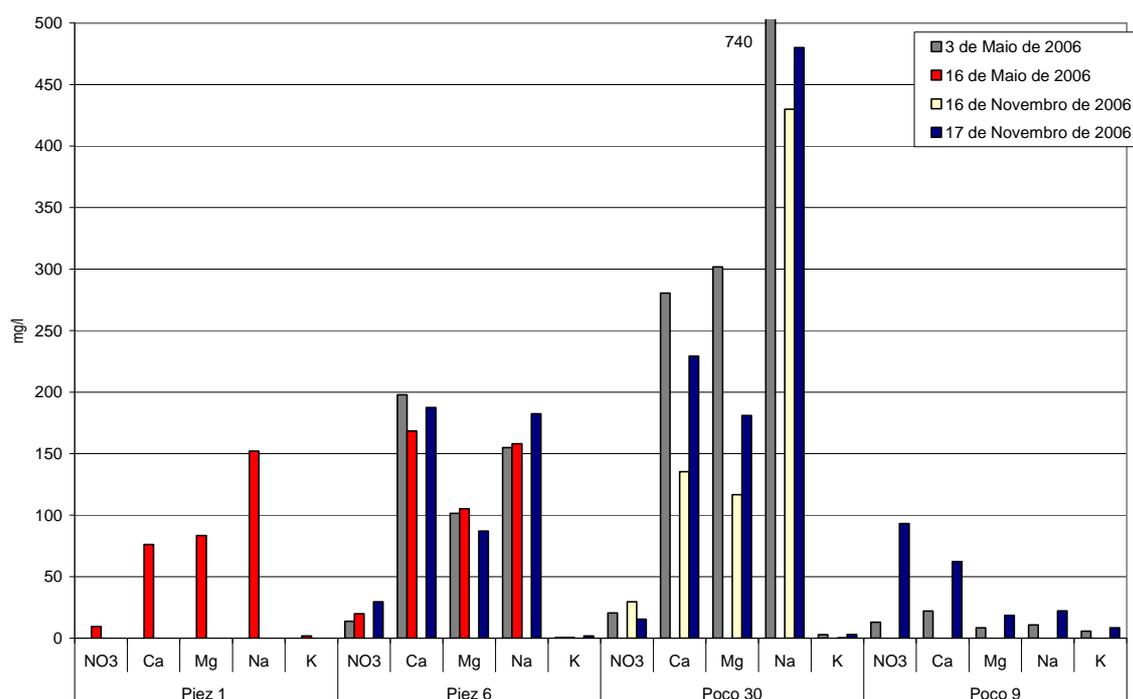


Fig. 18 - Resultados da qualidade das águas subterrâneas para os catiões maiores e nitrato, na área envolvente das parcelas

A análise do Quadro 17 e da Fig. 18 permite observar a presença de concentrações em nitratos com alguma expressão regional, possivelmente resultante da actividade agrícola da região e da presença de um nível piezométrico pouco profundo. No poço 30 registam-se assinaláveis variações na concentração de catiões ao longo do período em análise, aspecto que será confirmado e retomado em relatório posterior.

Observam-se, também, concentrações muito maiores nas águas do poço 30, com assinaláveis oscilações entre campanhas, factos que se poderão dever ao uso impróprio do local e do próprio poço.

6.2.1.2 Água das ribeiras

O Quadro 18 apresenta o resultado das análises da qualidade das águas superficiais para a zona envolvente da área de estudo, para a ribeira de Canhestros, a norte da área de estudo, e de Sanfrins que atravessa a mesma (cf. Fig. 10).

A Fig. 19 apresenta os resultados obtidos para a condutividade eléctrica e para os nitratos ao longo do ano 2006. Os nitratos, na figura representados a verde, apresentam oscilações sazonais com concentrações maiores no mês de Agosto. Os seus valores raramente ultrapassam os 30 mg/l. Relativamente à condutividade eléctrica, na figura assinalados a azul,

registam-se valores muito elevados em ambas as ribeiras que oscilam entre 0,89 e 4,04 mS/cm resultantes da elevada concentração iónica das suas águas.

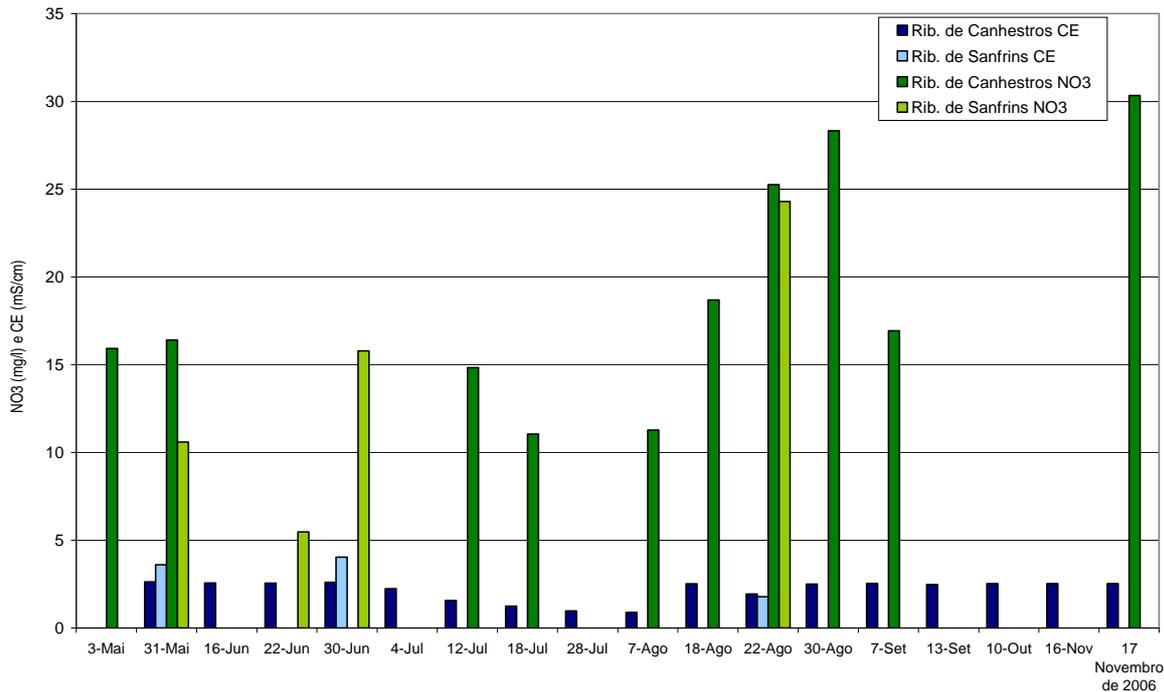


Fig. 19 - Resultados da qualidade das águas das ribeiras, para o nitrato e a condutividade eléctrica, na área envolvente às parcelas, no ano 2006

6.2.1.3 Água de rega

Neste ponto são apresentados vários parâmetros da qualidade da água nas parcelas experimentais amostradas entre Maio e Novembro de 2006, no canal de rega (Barragem de Monte Branco), na vala de drenagem que atravessa a área de estudo e na água efectivamente utilizada para a rega.

No Quadro 19 apresentam-se os resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem. Observa-se que as águas do canal de rega apresentam valores de condutividade eléctrica bastante estáveis ao longo do ano, aspecto que não é válido para as águas da vala de drenagem. A Fig. 20 permite analisar a evolução dos valores de condutividade eléctrica bem como dos nitratos neste dois domínios. Verifica-se que a concentração em nitratos é baixa nas águas do canal, apresentando valores mais elevados na vala de drenagem, embora abaixo dos 25 mg/l, no período em que se efectuou a amostragem. Ambas as águas têm características básicas.

Quadro 19 - Resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem

Data da recolha	Designação	CE	pH	Eh	T	NO3
		mS/cm		mV	°C	
25 de Maio de 2006	Canal de Rega	0,437	8,68	329	20,8	
31 de Maio de 2006	Canal de Rega	0,493	8,1	304	21,4	
8 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,51	7,95	197	25,3	
8 de Junho de 2006	Vala de drenagem	6,56	7,75	340	22,0	
16 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,464	8,55	269	20,4	
16 de Junho de 2006	Vala de drenagem	8,45	8,3	236	20,9	
22 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,426	8,83	245	30,2	1,89
30 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,441	7,61	308	20,5	
4 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,451	7,81	258	20,9	
12 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,451	7,76	368	21,6	3,47
12 de Julho de 2006	Vala de drenagem	0,897	4,95	380	24,5	22,95
18 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,454	7,74	349	24,7	3,43
18 de Julho de 2006	Vala de drenagem	0,713	7,43	298	27,0	10,72
28 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,463	7,63	347	21,9	
28 de Julho de 2006	Vala de drenagem	0,649	7,8	380	24,5	4,69
7 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,482	8,16	298	25,0	7,45
7 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	0,656	7,45	332	28,3	14,53
18 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,473	8,3	292	22,1	6,93
18 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	1,44	7,31	165	19,6	9,87
22 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,475	8,6	272	29,1	4,67
22 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	0,829	7,55	183	24,5	16,4
30 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,487	8,22	323	24,9	8,15
30 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	1,469	7,77	187	23,0	19,37
7 de Setembro de 2006	Canal de Rega	0,482	8,08	335	25,0	5,59
7 de Setembro de 2006	Vala de drenagem	2,13	7,33	164	21,5	14,92
13 de Setembro de 2006	Canal de Rega	0,475	8,45	370	13,1	
13 de Setembro de 2006	Vala de drenagem	2,38	7,35	293	14,1	
10 de Outubro de 2006	Canal de Rega	0,513	8,62	239	21,6	
16 de Novembro de 2006	Canal de Rega	0,513	8,62	239	21,6	
17 de Novembro de 2006	Canal de Rega	0,513	8,62	239	21,6	

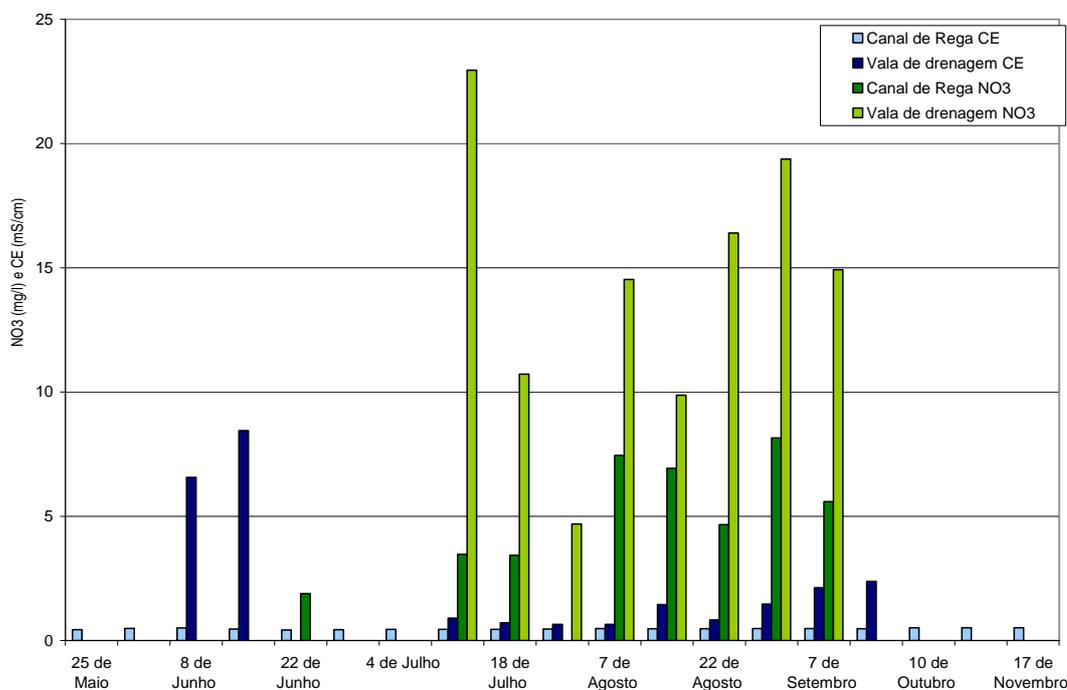


Fig. 20 - Resultados da qualidade das águas do canal de rega e da vala de drenagem, para o nitrato e a condutividade eléctrica

Dos resultados obtidos podemos verificar que a condutividade eléctrica da água de rega é praticamente constante ao longo da campanha de rega, verificando-se uma tendência para um ligeiro aumento dos seus valores apresentando uma condutividade média de 0,474 mS/cm, ou seja, de perigo de salinização do solo médio (C2) e perigo de alcalinização baixo (S1), segundo a classificação da USSL (Richards, 1954).

Com base na legislação portuguesa (Dec. Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto) para águas destinadas à rega o VMR da condutividade eléctrica é de 1 mS/cm. O valor da razão adsorção sódio (SAR) de 4,5 meq/l relativo à amostra de água recolhida na vala revela-se pouco elevado (a legislação portuguesa estabelece para a SAR o valor de 8 meq/l como VMR).

Com base no diagrama classificativo da água de rega do U.S. Salinity Laboratory e analisando a Fig. 21 podemos verificar que a qualidade da água da ribeira, expressa como combinação de CE e SAR, pode ser usada para irrigação apenas em solos com boa drenagem, com aplicação de volumes de água em excesso para que a lixiviação dos sais ocorra e nos casos de plantas tolerantes à salinidade.

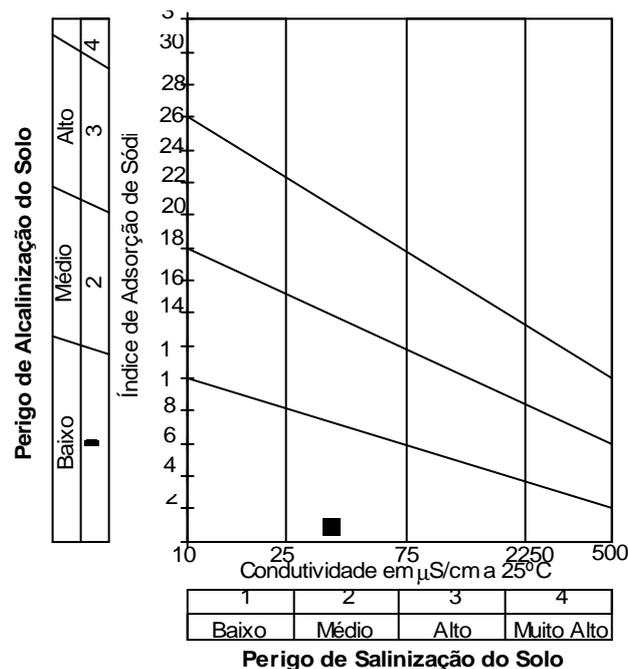


Fig. 21 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola: água de rega

No caso do milho, o limite de tolerância de sais na água de rega indicado por Ayers e Westcot (1985) é de 1,1 mS/cm, classificando-se como uma planta sensível à salinidade (*cf.* Quadro 20). Para o milho, a percentagem de redução do rendimento por unidade de condutividade eléctrica (mS/cm) é de 75% quando a condutividade eléctrica da água de rega é de 2,5 mS/cm, e de 50% quando a condutividade é de 3,9 mS/cm. Gonçalves *et al.* (2005) apresentam alguns resultados de ensaios realizados em Alvalade do Alentejo onde se analisa a

produtividade do milho em função de diferentes salinidades da água de rega, num projecto de demonstração financiado pelo programa AGRO.

Quadro 20 - Tolerância das plantas do milho e do girassol à salinidade da água de rega e do solo (Ayers e Westcot, 1985)

Cultura	100%		0%	
	EC _w	EC _{es}	EC _w	EC _{es}
	mS/cm			
Milho grão	1,1	1,7	6,7	10
Milho forragem	1,2	1,8	10	15
Girassol	3,5			

EC_{es} = condutividade do estrato de saturação do solo

EC_w = condutividade eléctrica da água de rega

Ayers e Westcot (1985) referem que, para a cultura do girassol, o valor da condutividade eléctrica da água de rega para o qual o rendimento da planta é na ordem dos 100% (salinidade limiar) é de 3,5 mS/cm (planta moderadamente sensível), sendo a produção afectada apenas em 75% no caso da condutividade eléctrica da água de rega ser igual a 5 mS/cm.

A legislação em vigor definida pela FAO (1985) para a classificação da qualidade da água de rega determina um conjunto de valores-limites atendendo ao grau de restrição no uso da água: nenhum, ligeiro a moderado e severo (cf. Quadro 21).

Quadro 21 - Normas gerais para a classificação da qualidade da água de rega utilizada pela FAO (Ayers e Westcot, 1985)

Principais problemas na rega	Unidade	Grau de restrição no uso			
		Nenhum	Ligeiro a Moderado	Severo	
Salinidade					
EC _w ou	mS/cm	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0	
TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000	
Sodicidade					
SAR e CE					
	0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2	
	3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3	
	6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5	
	12 - 20	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3	
	20 - 40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9	
Toxicidade de iões específicos					
Sódio (Na ⁺)	Rega de superfície	SAR	< 3	3 - 9	> 9
	Rega por aspersão	meq/l	< 3	> 3	
Cloreto (Cl ⁻)	Rega de superfície	meq/l	< 4	4 - 10	> 10
	Rega por aspersão	meq/l	< 3	> 3	
Boro (B ⁻)		mg/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3
Azoto (NO ₃)		mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)		meq/l	< 1,5	1,5 - 8,5	< 8,5
pH				6,5 - 8,4	

De acordo com a legislação americana (FAO), a água do canal de rega não apresenta qualquer risco de salinização para os solos. A condutividade da água de rega é de 0,373 mS/cm, encontrando-se dentro dos valores normais determinados pela FAO.

Quanto ao risco de sodicidade a água de rega apresenta um grau de restrição ao seu uso de ligeiro a moderado.

O valor de cloretos na água de rega da ordem de 60 mg/l revela-se no limite do valor recomendado pela legislação portuguesa. O VMR para cloretos, apresentado na legislação portuguesa (Dec. Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto) para águas destinadas à rega é de 70 mg/l, verificando que a água do canal de rega apresenta restrições em termos de uso. No entanto, de acordo com a FAO, o teor em cloretos encontrado para a água de rega do canal, 1,71 meq/l, não implica qualquer restrição ao seu uso, já que o valor é inferior a 3 meq/l.

Quanto ao teor em nitratos, a água do canal de rega contém níveis abaixo dos legislados, todos inferiores a 9 mg/l (*cf.* Quadro 19). O VMR (Dec. Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto) para águas de rega é de 50 mg/l.

Em relação à qualidade físico-química da água efectivamente utilizada para rega, efectuou-se uma amostragem para análise dos seus iões maiores. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 22 e referem-se à condutividade eléctrica (CE), aos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na), e a sua interpretação em função dos valores de razão adsorção sódio (SAR) bem como a sua classificação quanto ao risco de salinidade e de alcalinidade com base no diagrama do U.S. Salinity Laboratory (USSL).

Quadro 22 - Qualidade da água de rega do Monte da Mancoca e Pinheirinho (Barragem do Monte Branco)

Data	pH	HCO ₃ meq/l	Cl mg/l	NO ₃ mg/l	CE (mS/cm)	Ca	Mg meq/l	Na	SAR meq/l	Class. USSL
03-05-2006	7,08	2,50	60,70	0,63	0,373	33,49	18,36	27,50	4,5	C2-S1

As águas apresentam perigo de salinização do solo médio (C2) e perigo de alcalinização baixo (S1), segundo a classificação da USSL (Richards, 1954), tal como vem explicitado em maior pormenor na secção 4.2.2.

6.2.2 Interior das parcelas

6.2.2.1 Água de escorrência

Os Quadros 23 a 25 apresentam os resultados obtidos para as águas de escorrência ao longo dos ensaios efectuados em 2006. Importa, desde já, assinalar diversos hiatos na informação resultantes da ausência de água nas garrafas ligadas aos anéis de escorrência,

aspecto que, em especial para o caso da Mancoca, dificulta a sua interpretação. Em muitos dos casos a ausência de água deveu-se à falta de rega, em especial para o Pinheirinho (girassol), e à rápida infiltração, mas também houve diversos casos em que a ligação entre os anéis e o recipiente para recolha das amostras apresentou problemas não permitindo a recolha de água.

Quadro 23 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte da Mancoca - Milho

Data da recolha	Designação	Vol./np ml/m	Medições no campo				Sonda NO3 mg/l
			CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	380	0,378	9,61	271	24,6	3,17
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	60	0,653	8,92	260	25,9	29,82
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 3						
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	520	0,466	8,29	313	31,9	61,13
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	960	0,106	9,19	208	31,8	
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 3	0					
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	0					
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	0					
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 3	0					
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0					
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0					
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 3	0					
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0					
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	102	0,668	7,95	236	30,4	194,09
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 3						
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0					
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0					
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 3	0					
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0	0,526	8,46	130	23,8	4,92
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	110	0,499	8,35	163	24,0	6,7
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 3	0					
1 de Agosto a 16 de Novembro	Anéis escoamento	0					

Quadro 24 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Milho

Data da recolha	Designação	Vol./np ml/m	Medições no campo				T °C	Sonda NO3 mg/l
			CE mS/cm	pH	Eh mV			
30 de Junho de 2006	Talhão escoamento 1	290	1,767	8,66	209	34,8	241,27	
30 de Junho de 2006	Talhão escoamento 2	50	3,92	8,3	237	32,5	220,47	
4 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	0						
4 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	3,66	0,83	7,75	253	25,2	95,98	
12 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	0						
12 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	15000	0,816	7,44	298	29,8	79,57	
18 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	478	1,375	7,48	293	27,8	4,93	
18 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	12000	0,28	7,12	312	27,2	126,59	
28 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	3650	0,691	6,94	339	22,1	24,98	
28 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	12000	0,72	6,82	336	22,1	52,11	
7 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	1003	0,618	7,15	338	29,0	9,37	
7 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	Cheio	0,668	6,87	355	27,5	19,51	
18 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	1550	0,542	6,7	361	19,7	13,76	
18 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	Cheio	0,643	7,14	356	19,8	44,51	
22 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	70	0,584	7,75	328	26,6	40,61	
22 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	2084	0,673	7,34	296	26,4	197,38	
30 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	800	0,572	7,12	282	22,5	18,8	
30 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	Cheio	0,698	7,06	274	22,5	45,44	
7 de Setembro de 2006	Talhão escoamento 1	230	0,59	7,78	252	26,4	15,23	
7 de Setembro de 2006	Talhão escoamento 2	cheio	0,782	8,06	245	25,5	17,12	
1 de Agosto a 10 de Outubro	Talhões escoamento	0						

Quadro 25 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Girassol

Data da recolha	Designação	Vol./np ml/m	Medições no campo				Sonda NO3 mg/l
			CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	
8 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	0	-	-	-	-	
8 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	0	-	-	-	-	
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	-					
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	-					
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	1420	0,467	8,43	185	39,8	8,31
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	1060	0,75	9,18	140	-	
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	732	0,572	8,18	231	37,4	3,82
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	268	0,487	9,92	228	34,0	3,65
4 de Julho de 2006	Escoamento 1*	-	1,066	-	223	26,7	162,95
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0					
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	73	0,505	8,18	202	39,2	5,56
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	90	0,418	9,3	262	40,0	5,65
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	134	0,562	8,07	216	35,4	6,0
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0					
28 de Julho de 2006	Escoamento 1*	-	1,064	7,64	348	22,8	106,41
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0					
1 de Agosto a 16 de Novembro	Anéis escoamento	0					

* água de escoamento recolhida na depressão deixada pelo rodado do pivot de rega

Todas as águas são maioritariamente básicas. Em relação aos valores de condutividade eléctrica e de concentração em nitratos, apresenta-se a sua evolução ao longo do período de rega para os três casos de estudo: Mancoca - milho e Pinheirinho milho e girassol. Por forma a ter um termo de comparação, projectou-se no gráfico os valores destes dois parâmetros na água de rega sem adição de fertilizantes à água.

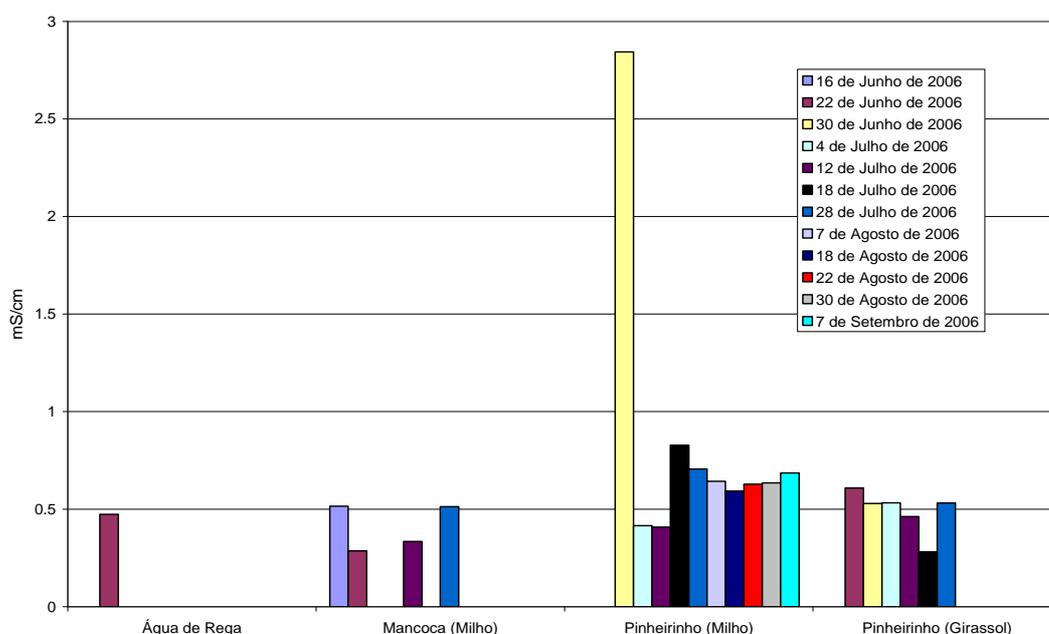


Fig. 22 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo

As Fig. 22 e Fig. 23 apresentam os resultados das médias dos dois anéis ou talhões de ensaio dentro de um mesmo local. Os resultados não são muito explícitos para o caso da Mancoca, dada a falta de amostras. Contudo, para o caso do Pinheirinho é possível observar os efeitos da fertilização no aumento da condutividade eléctrica das águas de escorrência e o efeito da fertirrega aplicada na semana anterior à recolha de 30 de Junho (cf. Fig. 5). O caso do Pinheirinho – girassol, não houve fertilização. Contudo, observa-se, e verificou-se no terreno, haver escorrência superficial de uma parcela para a outra, registando-se alguma subida nos valores da condutividade (cf. Fig. 22).

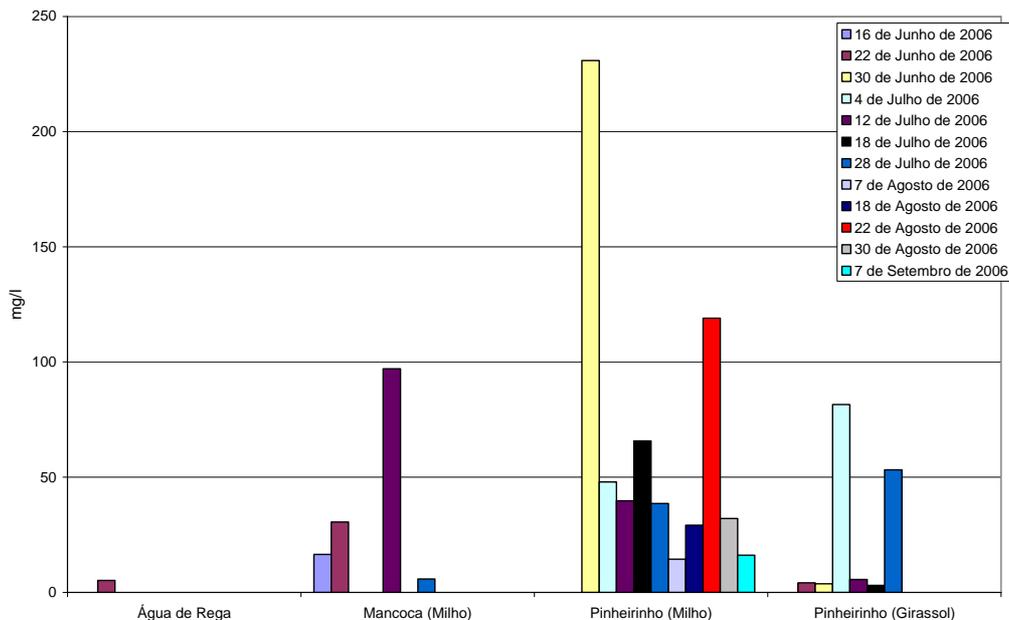


Fig. 23 - Resultados da variação do teor em nitratos nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo

Para o caso dos nitratos, a Fig. 23 apresenta os resultados obtidos dentro de um mesmo ensaio, também em termos dos valores médios entre os dois anéis ou parcelas. Aqui é evidente o aumento da concentração de nitratos causado pela fertilização, embora nem sempre os aumentos estejam directamente relacionados com os períodos de fertilização, como é o caso das amostras recolhidas a 22 de Agosto com as águas da semana anterior. De referir que as águas do Pinheirinho (girassol) que apresentam valores mais elevados em nitratos são águas que foram recolhidas nas depressões deixadas pelos rodados do pivot, e não nos anéis de escorrência, pelo que as suas concentrações elevadas se podem dever a uma elevada evaporação da água com conseqüente concentração de sais.

6.2.2.2 Água da zona vadosa

Os Quadro 26 a Quadro 28 apresentam os resultados das análises efectuadas semanalmente na água recolhida nas cápsulas instaladas na zona vadosa para os três ensaios. A água foi recolhida a três profundidades, 20, 40 e 60 cm, de acordo com o procedimento referido na secção 5.4.2.2.

Quadro 26 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte da Mancoca - Milho

Designação	Medições no campo					Sonda NO3	Análises químicas efectuadas no IGM										Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente											
	Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4 mg/l	NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3	SO4	Cl	Carb	Alcal
Cápsula 20	-	1,239	6,3	341	24,2											0,15	10	0,25	67,4	34,6	103	2,7	310	121	x			
Cápsula 40	-	0,675	5,92	315	22,8											0,48	<10	0,09	35,8	14,8	75,1	2,2	150	92	78,8			
Cápsula 60	-	4,9	6,34	225	23,1											0,41	103	0,06	215	207	409	128	1386	310	1230	<0,1	106	7,0
Cápsula 20	-	1,822	6,58	339	17,4	75,86																						
Cápsula 40	-	1,07	6,51	386	16,4	6,5																						
Cápsula 60	-	1,184	6,46	418	15,0	8,54																						
Cápsula 20	-																											
Cápsula 40	-																											
Cápsula 60	-																											
Cápsula 20	-																											
Cápsula 40	-	0,719	6,35	326	22,2											<0,03	14											
Cápsula 60	-	1,837	6,28	323	21,6											0,42	283		124	56,0	148	<1,0	540					
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	277	0,626	5,85	277	29,0											0,041	17		34,3	11,6	74,7	<1,0	133					
Cápsula 60	928	3,05	6,07	291	28,6											0,74	269		219	105	240	<1,0	976					
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	260	0,807	6,32	-27	24,0	4,81																						
Cápsula 60	846	6,62	6,28	-16	23,7	234,37																						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	168	1,041	5,83	366	22,0	6,09																						
Cápsula 60	716	7,52	6,26	385	21,6	207,41																						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	250	1,384	5,93	241	28,4																							
Cápsula 60	874	8,75	6,2	269	26,9																							
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	196	2,14	6,4	215	29,5	52,24																						
Cápsula 60	792	9,84	6,4	315	27,7	421,76																						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	302	2,92	5,8	204	24,3	81,73										0,098	17		230	83,2	250	<1,0						
Cápsula 60	844	10,43	6,02	218	23,7	470,65										32,5	269		724	434	704	1						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	392	3,27	6,3	352	28,2											0,25	259		245	83,2	293	<1,0						
Cápsula 60	786	10,79	6,73	342,5	27,7	580,46										32,5	1,3		744	456	920	<1,0						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	432	3,76	6,44	369	20,6	85,58										0,18	21,8	0,09	297,0	77,3	317,0	1,3	3726,0	147,0	1060,0	<0,1	74,2	6,4
Cápsula 60	727	10,12	7,02	347	20,8	437,55										2,4	200,0	0,36	687,0	426,0	846,0	<1,0	1060,0	474,0	3100,0	0,2	200	7,2
Cápsula 20	36	2,96	7,46	319	29,1	34,64																						
Cápsula 40	180	3,91	6,33	329	27,4	188,36																						
Cápsula 60	500	9,74	6,86	385	27,4	318,78																						
Cápsula 20	44	3,26	7,23	297	25,8	35,6																						
Cápsula 40	374	3,82	6,54	305	23,7	86,52										0,078	18,2	0,07	301,0	184,0	382,0	<1,0	3726,0	140,0	1120,0	<0,1	82,6	6,6
Cápsula 60	822	9,8	6,81	307	23,1	407,62										0,072	125,0	0,06	694,0	804,0	897,0	<1,0	1060,0	557,0	964,0	<0,1	191	6,8
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	0																											
Cápsula 60	352	9,85	7,12	222	23,9	290,31	1,39	0,1	0,08	743	677	920	1,9	3514	490	718												
Cápsula 20	57	3,54	8,08	290	14,7																							
Cápsula 40	190	4,13	6,62	305	13,9																							
Cápsula 60	685	9,56	7,26	301	12,6											0,034	40,4	0,08	361,0	256,0	359,0	<1,0	1411,0	173,0	1460,0			
																0,18	175,0	0,07	724,0	668,0	868,0	<1,0	3460,0	659,0	214,0	<0,1	180	6,8

Quadro 27 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho - Milho

Data da recolha	Designação	Medições no campo				Sonda NO3	Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente														
		Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV		T °C	NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3	SO4	Cl	COT	Alcal	pH	Carb.o
16 de Junho de 2006	Cápsula 20	0																			
16 de Junho de 2006	Cápsula 40	0																			
16 de Junho de 2006	Cápsula 60	0																			
22 de Junho de 2006	Cápsula 20	65	1,193	6,21	279	31,5		0,033	144												
22 de Junho de 2006	Cápsula 40	18																			
22 de Junho de 2006	Cápsula 60	1																			
30 de Junho de 2006	Cápsula 20	24	1,654	7,1	299	30,7	154,61														
30 de Junho de 2006	Cápsula 40	12																			
30 de Junho de 2006	Cápsula 60	0																			
4 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
4 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
4 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																			
12 de Julho de 2006	Cápsula 20	22					224,12														
12 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
12 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																			
18 de Julho de 2006	Cápsula 20	15					124,9														
18 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
18 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																			
28 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
28 de Julho de 2006	Cápsula 40	10	1,303	6,21	367	24,0	82,47														
28 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																			
7 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																			
7 de Agosto de 2006	Cápsula 40	28	1,377	7,96	258	30,2	331,13														
7 de Agosto de 2006	Cápsula 60	24	0,88	8,23	270	30,0	52,24														
18 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																			
18 de Agosto de 2006	Cápsula 40	44	1,163	7,8	330	20,7	368,5														
18 de Agosto de 2006	Cápsula 60	44	0,88	7,99	348	20,1	10,89														
22 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																			
22 de Agosto de 2006	Cápsula 40	0																			
22 de Agosto de 2006	Cápsula 60	28	0,887	8,28	298	28,5	8,51														
30 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																			
30 de Agosto de 2006	Cápsula 40	62	1,258	7,82	228	24,7	417,45														
30 de Agosto de 2006	Cápsula 60	46	0,92	8,07	242	24,6	9,72														
7 de Setembro de 2006	Cápsula 20	558	1,2	7,54	246		64,1	0,42	23,9	0,24	126,00	58,9	81,2	2,00	0,22	118,00	237,00		229	7,2	10,5
7 de Setembro de 2006	Cápsula 40	50	1,39	7,94	250	28,0	268,31														
7 de Setembro de 2006	Cápsula 60	50	0,99	8,16	245	28,5	5,05														
13 de Setembro de 2006	Cápsula 20	526	1,36	7,64	297	13,7															
13 de Setembro de 2006	Cápsula 40	0																			
13 de Setembro de 2006	Cápsula 60	0						0,037	<10	0,18	148	71	92,1	1,7	0,17	106	652		297	7	10,5
18 de Setembro de 2006	Cápsula 20	-																			
18 de Setembro de 2006	Cápsula 40	-																			
18 de Setembro de 2006	Cápsula 60	-						0,67	21,3		69,8	24	102	<1							
10 de Outubro de 2006	Cápsula 20	0																			
10 de Outubro de 2006	Cápsula 40	0																			
10 de Outubro de 2006	Cápsula 60	0																			

Quadro 28 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Girassol

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda NO3	efectuadas na EGI, Ambiente													
		Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na mg/l	K	CO3	SO4	Cl	COT	Alcal	pH	
25 de Maio de 2006	Cápsula 20	-	0,89	6,52	318	25,2		0,36	29	0,08	82,3	3,5	62,1	4,4	220	63					
25 de Maio de 2006	Cápsula 40	-	0,557	6,13	314	24,9		0,48	15,0	0,07	42,8	7,7	59,0	2,2	138	82,0	55,5	0,12	73,4	7,4	
25 de Maio de 2006	Cápsula 60	-	0,715	5,74	322	27,2		0,91	12	0,07	40,1	14,7	73,7	<1,0	161	116	56,2	<0,1	57,2	6,8	
31 de Maio de 2006	Cápsula 20	-	0,872	7,2	342	17,8	18,15														
31 de Maio de 2006	Cápsula 40	-	0,519	6,36	349	17,6	24,37														
31 de Maio de 2006	Cápsula 60	-	0,704	7,1	339	17,3															
8 de Junho de 2006	Cápsula 20	-	1,027	7,69	259	29,1	93,25														
8 de Junho de 2006	Cápsula 40	0	-	-	-	-															
8 de Junho de 2006	Cápsula 60	0	-	-	-	-															
16 de Junho de 2006	Cápsula 20	-	0,962	7,35	278	25,1	75,62														
16 de Junho de 2006	Cápsula 40	-	0,541	5,23	305	23,5		<0,03	40		31,5	11,6	74,7	2,3	126						
16 de Junho de 2006	Cápsula 60	-	0,727	5,94	257	23,5		0,76	274				572,6	<1,0							
22 de Junho de 2006	Cápsula 20	222	1,258	7,06	345	34,0		0,74	89		59,9	46,1	87,3	3,8	339						
22 de Junho de 2006	Cápsula 40	500	0,598	5,63	354	30,6		0,066	44		32,7	12,5	78,4	4,1	133	97					
22 de Junho de 2006	Cápsula 60	382	0,749	5,97	335	30,9		0,074	30		39,6	15,5	88,2	<1,0	163						
30 de Junho de 2006	Cápsula 20	72	1,225	7,38	249	30,1	34,67														
30 de Junho de 2006	Cápsula 40	388	0,62	5,57	259	27,8	44,34														
30 de Junho de 2006	Cápsula 60	382	0,776	6,08	270	27,3	32,25														
4 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
4 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
4 de Julho de 2006	Cápsula 60	283	0,765	5,85	364	25,3	29,64														
12 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
12 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
12 de Julho de 2006	Cápsula 60	490	0,853	6,35	245	35,0															
18 de Julho de 2006	Cápsula 20	10					9,7														
18 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
18 de Julho de 2006	Cápsula 60	200	0,778	7,16	231	32,9	41,48														
28 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
28 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
28 de Julho de 2006	Cápsula 60	20	0,742	7,22	380	25,4	44,04														

As amostras foram recolhidas semanalmente durante todo o ciclo das culturas, estando a presença de água nas cápsulas condicionada pela existência ou não de rega e pela capacidade de infiltração da água no solo. Como consequência, nem em todas as semanas houve água nas diversas cápsulas.

Na água recolhida foram efectuadas medições de campo para aferição dos valores de condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura e foram, também, enviadas amostras para análise química laboratorial. Foram, igualmente, efectuadas medições no laboratório do Núcleo de Águas Subterrâneas à concentração em nitratos através de uma sonda.

Em termos da qualidade global das águas, e em relação à condutividade eléctrica da água, verifica-se que na modalidade MM (Mancoca milho) os valores de CE foram os mais elevados e aumentaram ao longo do período de rega em todas as camadas do perfil do solo, atingindo o maior valor (10,79 mS/cm) no caso da amostragem realizada a 7 de Agosto, à profundidade de 60 cm. É, aliás, na camada situada a maior profundidade (60 cm) onde se verificam os valores mais elevados de CE, o que se explica pelo facto dos sais terem sido arrastados para a camada subjacente até atingirem o nível mais impermeável localizado a cerca de 60 cm (*cf.* Quadro 10 e Fig. 14). É, ainda, possível observar aos 60 cm uma tendência para a diminuição da condutividade eléctrica depois de 7 de Agosto, numa fase em que ainda havia rega mas já sem quaisquer fertilizações.

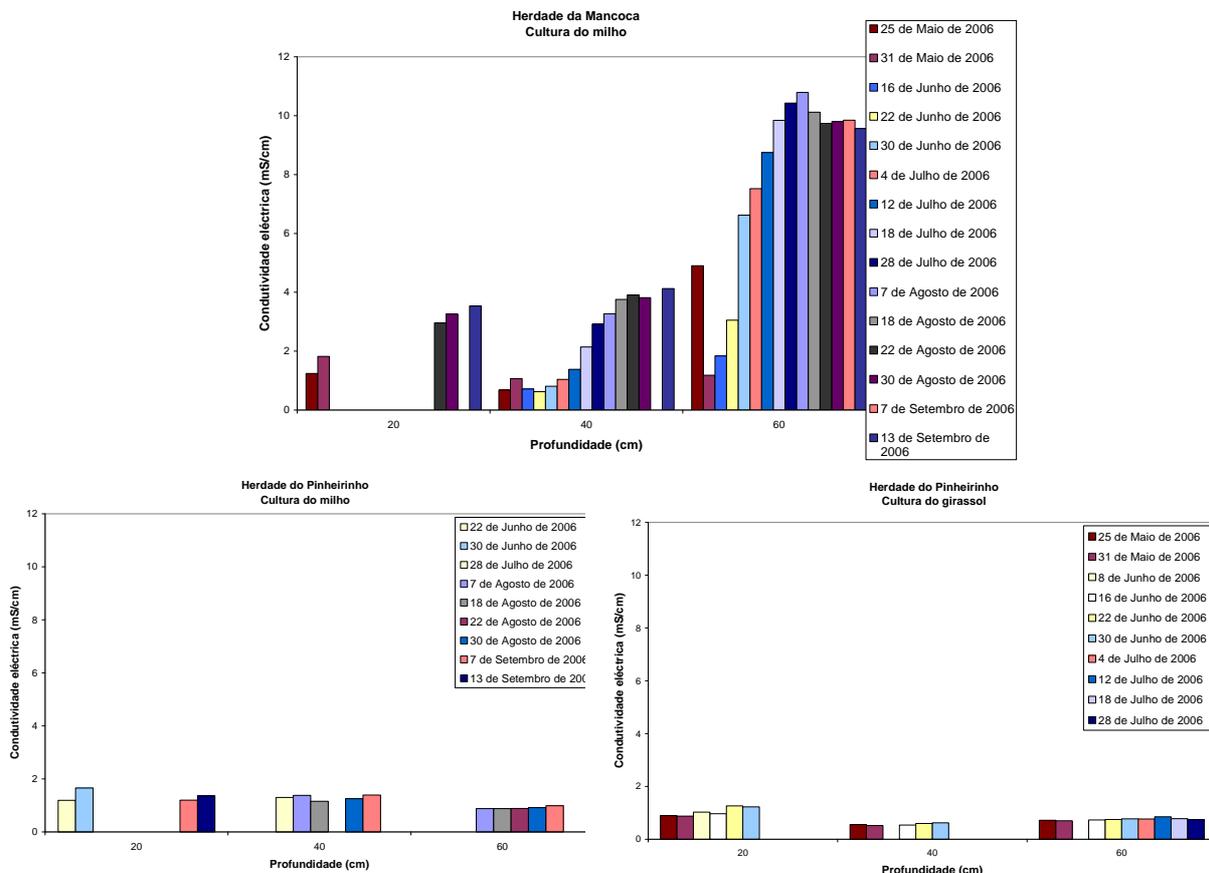


Fig. 24 - Variação da condutividade eléctrica na zona vadosa para as três parcelas de ensaio

Para as parcelas do Pinheirinho, os valores máximos registados para a condutividade eléctrica foram bastante mais baixos, oscilando entre 0,88 e 1,65 mS/cm, para a parcela do milho, e entre 0,54 e 1,26 mS/cm, para a parcela do girassol. Nesta última não houve aplicação directa de fertilizantes e/ou de rega, mas apenas as escorrências superficiais da parcela do milho localizada a montante. Observa-se que os valores de CE nestas duas parcelas são, geralmente, mais elevados nos primeiros centímetros do solo, possivelmente devido à sua menor capacidade de infiltração em comparação com os solos da Mancoca, permitindo maior disponibilidade para a evapotranspiração da água, com conseqüente acumulação de sais.

Em relação à variação de SAR (razão adsorção sódio) na Mancoca (milho), os valores obtidos variaram entre 2,54 e 6,55 meq/l. Estes valores oscilaram entre 1,50 e 2,89 meq/l e 1,82 e 3,01 meq/l para o caso do Pinheirinho milho e girassol, respectivamente. A Fig. 25 apresenta uma projecção dos valores do índice SAR para todas as águas da zona vadosa.

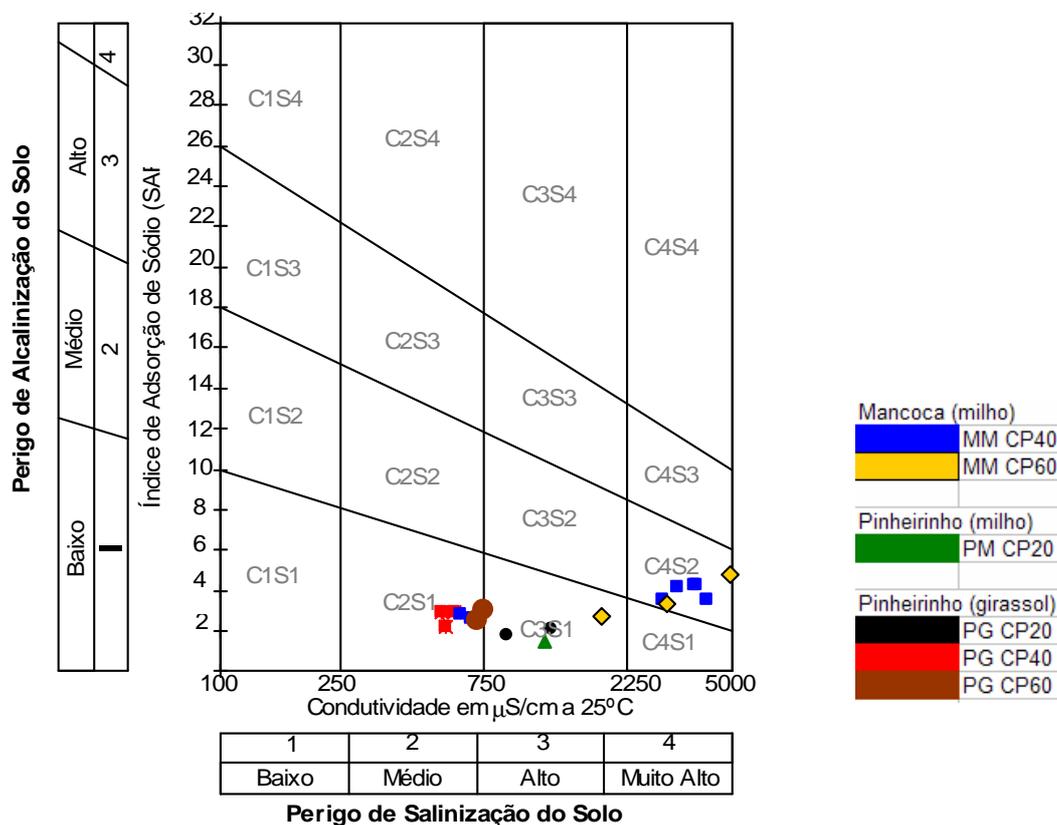


Fig. 25 - Projecção dos valores do índice SAR das águas da zona vadosa num diagrama de aptidão das águas para uso agrícola

Da análise da Fig. 25 é possível observar que as águas da zona vadosa da Mancoca são as menos adequadas quando comparadas com as características desejáveis para a água de rega. Obviamente estas águas apresentam estas concentrações em catiões por se encontrarem logo

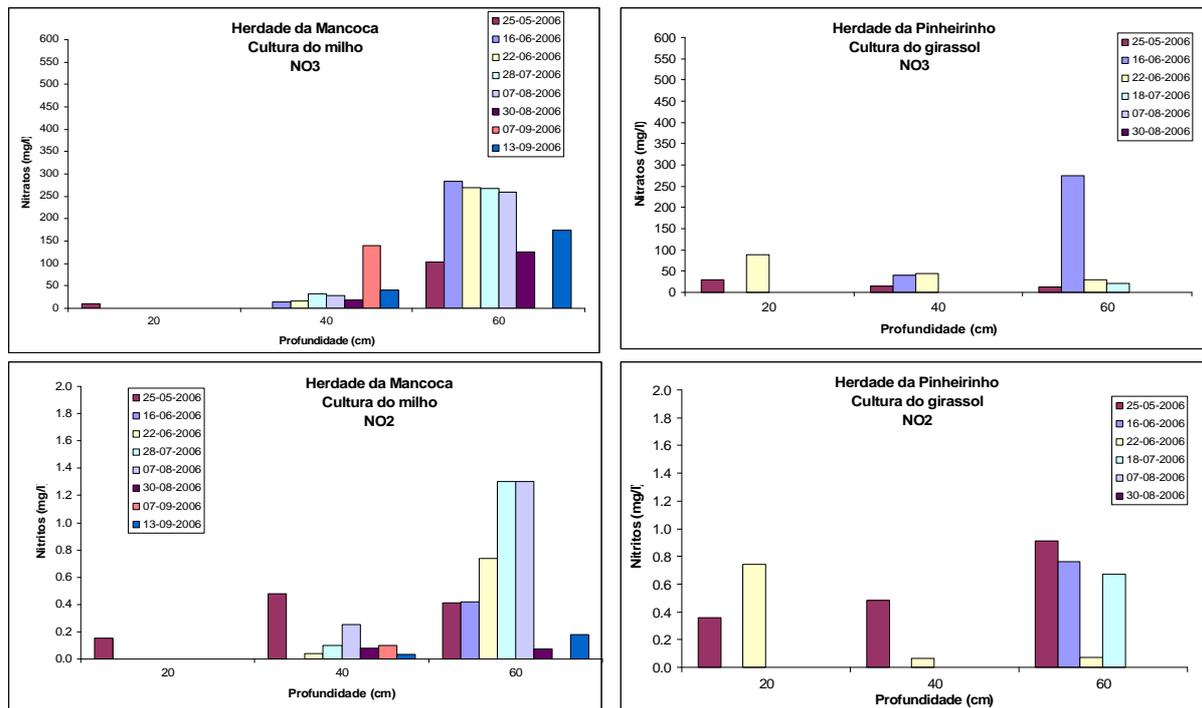
abaixo da área de rega. Nesse mesmo contexto, as águas mais adequadas à rega são as do Pinheirinho girassol, onde não foi efectuada nenhuma fertilização.

Para termo de comparação e melhor análise da Fig. 25, refere-se a classificação de um solo quanto à sua sodicidade, de acordo com Richards (1954) (cf. Quadro 29).

Quadro 29 - Classificação de um solo quanto à sua sodicidade (Richards, 1954)

Denominação	CE (dS/m)	ESP	pH
Normais	< 4	< 15	4 a 8,5
Salino	> 4	< 15	≤ 8,5
Salino-alcálico ou Salino-sódico	> 4	> 15	Próximo de 8,5
Alcalino ou Sódico	< 4	> 15	Em geral de 8,5 a 10

Em relação aos restantes parâmetros medidos na água da zona vadosa, as Fig. 26 a Fig. 27 apresentam os resultados obtidos. A comparação da qualidade das águas dos três locais nem sempre é fácil devido à falta de amostras em diversas datas. O Monte da Mancoca, devido à presença de um estrato menos permeável a cerca de 60 cm de profundidade é que facilitou a amostragem por ter permitido a acumulação de água.



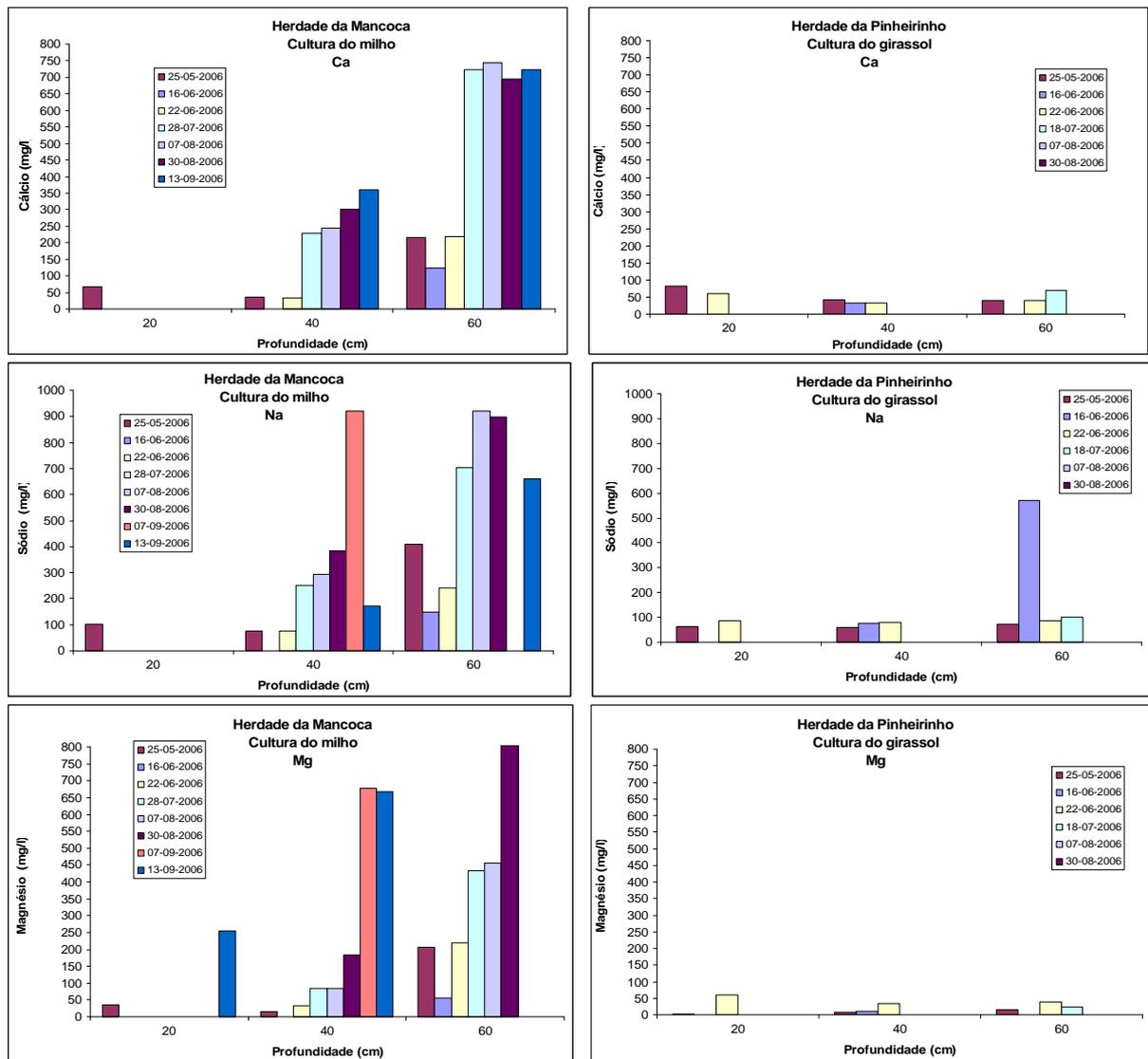


Fig. 26 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios, para o ensaio da Mancoca (milho) e do Pinheiro (girassol)

Dos resultados disponíveis pode dizer-se que é na cultura do milho da Mancoca que se observam maiores concentrações para as águas da zona vadosa, quer em cátions quer em aniões. É, também, notório o aumento dessas concentrações ao longo do ciclo da cultura, aspecto que não é observado nos ensaios do Pinheiro, com base nas amostras que foi possível recolher.

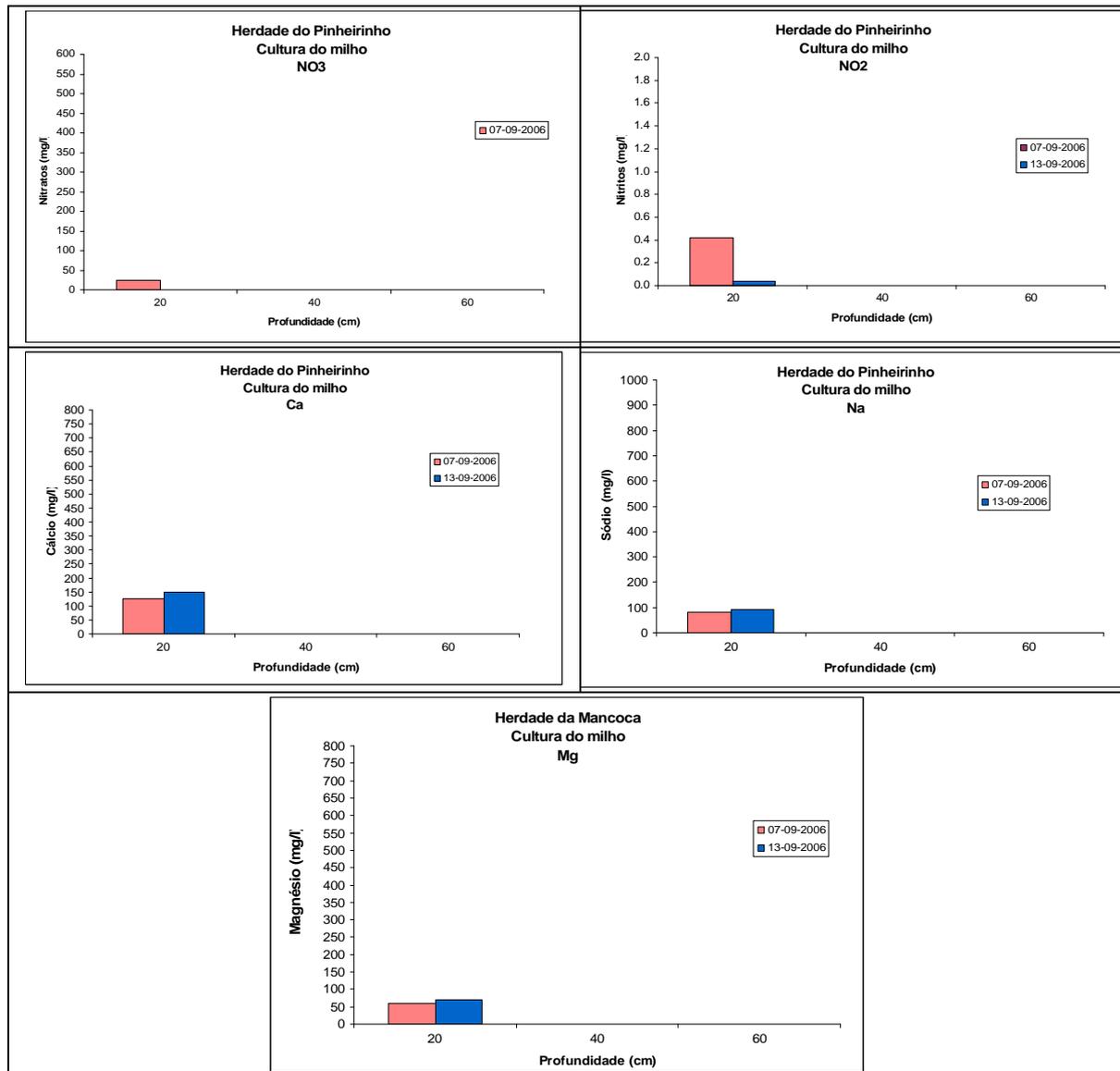


Fig. 27 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios, para o ensaio da Mancoca (girassol)

Nas águas da Mancoca, as maiores concentrações observam-se aos 60 cm, facto que não se observa para os ensaios do Pinheirinho (girassol) de uma forma tão clara, embora tenha sido a essa profundidade que foram registados os valores mais elevados.

No ensaio da cultura do Pinheirinho, milho, apenas foi possível recolher água no final do ciclo da cultura e aos 20 cm e os resultados obtidos denotam concentrações relativamente baixas para a maioria dos iões analisados.

6.2.2.3 Água subterrânea

Os Quadro 30 e Quadro 31 apresentam a síntese dos resultados obtidos para a qualidade das águas subterrâneas nos dois piezómetros instalados a jusante das parcelas de ensaio na Mancoca e no Pinheirinho. A maioria das análises foram efectuadas pelo INETI, embora se tivessem feito algumas análises extra na EGI, Ambiente, laboratório encarregue de realizar as análises nas cápsulas. Registam-se algumas diferenças significativas nas concentrações em nitratos das águas subterrâneas analisadas por este último laboratório, possivelmente devido ao lapso de tempo desde a colheita até à sua análise. Há, ainda, a hipótese de haver algum erro de leitura na sonda, aspecto que irá ser analisado com maior detalhe no seguimento deste estudo.

A Fig. 28 apresenta uma projecção dos seus iões maiores num diagrama de Piper. É possível observar que se tratam de águas com fácies cloretada sódica, mas também cálcica e magnésiana.

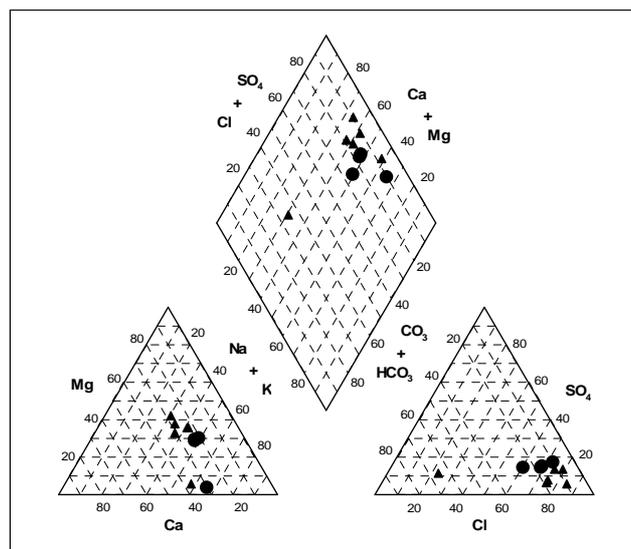


Fig. 28 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas das duas parcelas de ensaio, na Mancoca (triângulos) e no Pinheirinho (circunferências)

Quadro 30 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte da Mancoca

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda	Análises químicas efectuadas no IGM														Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente																
		Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO3 mg/l	Ref#	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2	CE	NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3 DzT	SO4	Cl				
25 de Maio de 2006	Pz MM	1,42	3,43	6,25	327	23,5																																
28 de Maio de 2006	Pz MM																																					
31 de Maio de 2006	Pz MM	1,42	3,46	6,28	139	24,0	8,7	095/06	18,57	Vestígios	Positivo	0,87	136,27	129,87	282,50	1,00	209,84	210,76	847,92	5,36	6,76	6,34	2,800															
6 de Junho de 2006	Pz MM	-	-	-	-	-	12,38																															
8 de Junho de 2006	Pz MM	-	-	-	-	-																																
16 de Junho de 2006	Pz MM	1,44	3,58	6,53	97	22,3		115/06	18,47	Positivo	Positivo	1,55	158,72	15,56	290,00	0,50	145,18	198,91	877,35	4,72	6,86	7,39	2,780															
22 de Junho de 2006	Pz MM	1,44	3,9	6,35	184	30,3																																
30 de Junho de 2006	Pz MM	1,43	3,6	6,36	42	27,9																																
4 de Julho de 2006	Pz MM	1,47	3,28	-	-	23,4																																
12 de Julho de 2006	Pz MM	1,41	4,02	6,09	120	29,4	24,42																															
18 de Julho de 2006	Pz MM	1,4	6,09	6,23	124	30,2	32,45																															
28 de Julho de 2006	Pz MM	1,39	5,9	8,44	114	24,1	33,64	142/06	20,89	Vestígios	Vestígios	3,90	290,34	240,64	405,00	0,70	305,61	141,26	1619,86	4,08	6,54	8,96	5,440															
1 de Agosto de 2006	Pz MM																																					
7 de Agosto de 2006	Pz MM	1,34	4,55	6,62	111	28,9	46,61																															
18 de Agosto de 2006	Pz MM	1,39	4,12	6,55	94	22,8	34,49																															
22 de Agosto de 2006	Pz MM	1,44	3,38	6,76	180	29,4	42,15	135/06	32,32	Positivo	Positivo	0,04	149,10	136,68	300,00	0,50	344,65	132,73	894,60	5,76	6,62	8,15	3,520															
30 de Agosto de 2006	Pz MM	-	3,95	6,39	150	28,6	40,12																															
7 de Setembro de 2006	Pz MM	1,52	3,43	6,27	151	25,7	20,2																															
13 de Setembro de 2006	Pz MM	-	3,46	6,86	305	13,8																																
10 de Outubro de 2006	Pz MM	0																																				
16 de Novembro de 2006	Pz MM	0																																				
17 de Novembro de 2006	Pz MM	0																																				

Quadro 31 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte do Pinheiro

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda	Análises químicas efectuadas no IGM														Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente																
		Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO3 mg/l	Ref#	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2	CE	NO2	NO3	Ca	Mg	Na	K	Zn	Dureza tot						
03 de Maio de 2006	Pz PG																																					
25 de Maio de 2006	Pz PG	1,21	5,43	7,05	355	22,8																																
28 de Maio de 2006	Pz PG																																					
31 de Maio de 2006	Pz PG	1,19	4,99	6,8	350	20,2	43,41	094/06	35,03	Positivo	Positivo	3,61	240,48	180,94	565,00	1,00	512,40	393,01	1309,95	3,84	6,97	10,97	4,480															
8 de Junho de 2006	Pz PG	-	-	-	-	-																																
16 de Junho de 2006	Pz PG	1,13	5,09	7,38	249	21,5		114/06		Positivo	Positivo	3,03	216,43	16,29	540,00	0,50	279,38	380,71	1182,15	2,08	7,38	13,16	4,020															
22 de Junho de 2006	Pz PG	1,13	4,78	7,1	354	26,6	36,43																															
30 de Junho de 2006	Pz PG	1,29	4,66	7,26	215	26,7	57,81																															
4 de Julho de 2006	Pz PG	1,36	4,54	-	-	21,9																																
12 de Julho de 2006	Pz PG	1,47	4,26	6,86	313	26,0	77,18																															
18 de Julho de 2006	Pz PG	1,57	4,16	7,06	226	28,8	98,12																															
28 de Julho de 2006	Pz PG		4,19	7,05	348	22,0		143/06	72,07	Positivo	Vestígios	3,20	149,09	127,80	402,50	0,40	597,80	271,91	853,07	2,08	7,24	13,73	3,840															
1 de Agosto de 2006	Pz PG																																					
7 de Agosto de 2006	Pz PG	1,85	3,96	7,1	250	27,8	220,45																															
18 de Agosto de 2006	Pz PG	1,85	3,11	8,45	308	21,7	138,22																															
22 de Agosto de 2006	Pz PG	1,86	3,54	7,54	284	36,5	130,15																															
30 de Agosto de 2006	Pz PG	1,82	3,39	8,49	290	28,7	106,89																															
7 de Setembro de 2006	Pz PG	1,8	3,15	7,91	226	31,07	36,03																															
13 de Setembro de 2006	Pz PG	-	3,4	7,43	285	13,8																																
10 de Outubro de 2006	Pz PG	1,62	3,33	7,45	319	23,2																																

Como se pode verificar da análise da Fig. 30, são águas com condutividades eléctricas extremamente elevadas, denotando-se uma variação dos seus valores durante o período de ensaio no caso da Mancoca e um decréscimo dos mesmos para o Pinheirinho.

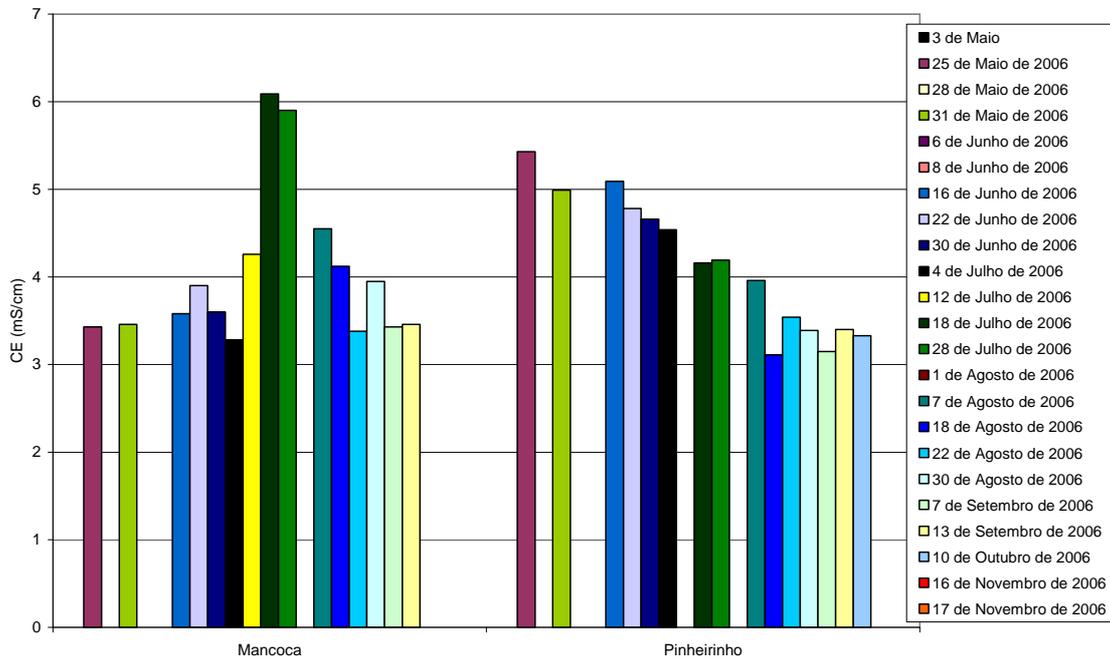


Fig. 29 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios

A variação mensal na concentração dos seus principais catiões ao longo dos ensaios (de 3 de Maio a 17 de Novembro) é apresentada na Fig. 30. Para as águas da Mancoca não se registam variações assinaláveis das concentrações, com excepção para as águas recolhidas a 28 de Julho, onde se observa um aumento dos catiões e dos cloretos. No Pinheirinho, as maiores concentrações registam-se antes daquela data.

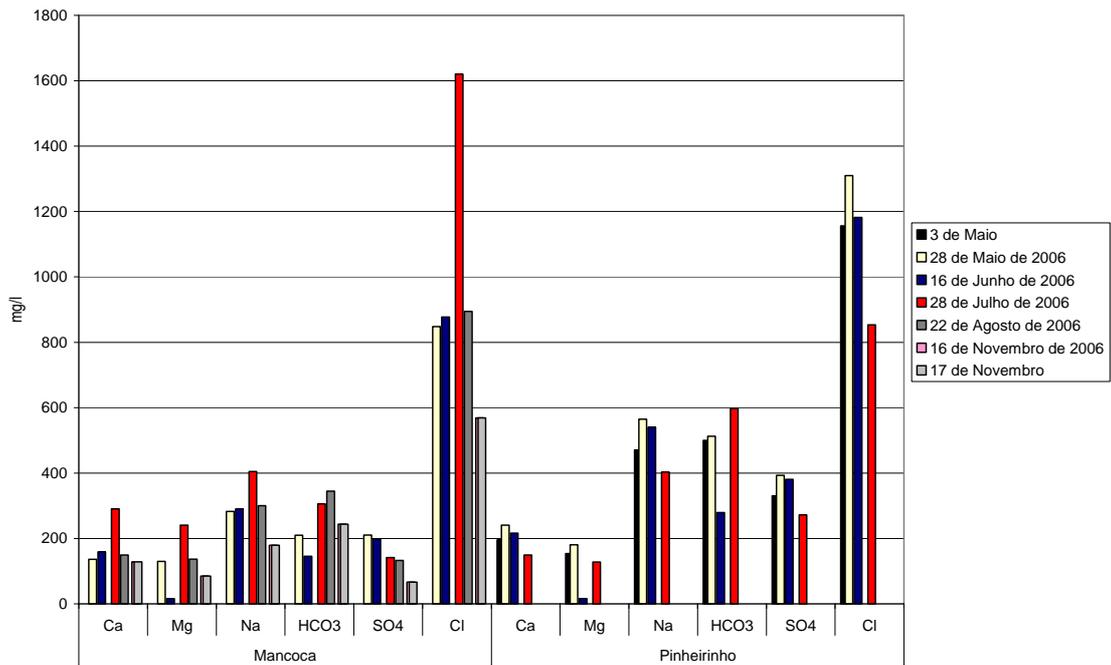


Fig. 30 - Resultados da variação das concentrações em iões maiores nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios

A Fig. 31 apresenta a variação do ião nitrato ao longo dos ensaios. São claros os efeitos da variação da concentração dos nitratos por aplicação de fertilizantes, com cerca de 1 a 2 meses de tempo de chegada aos piezómetros desde a data da sua aplicação (cf. Fig. 4 e Fig. 5).

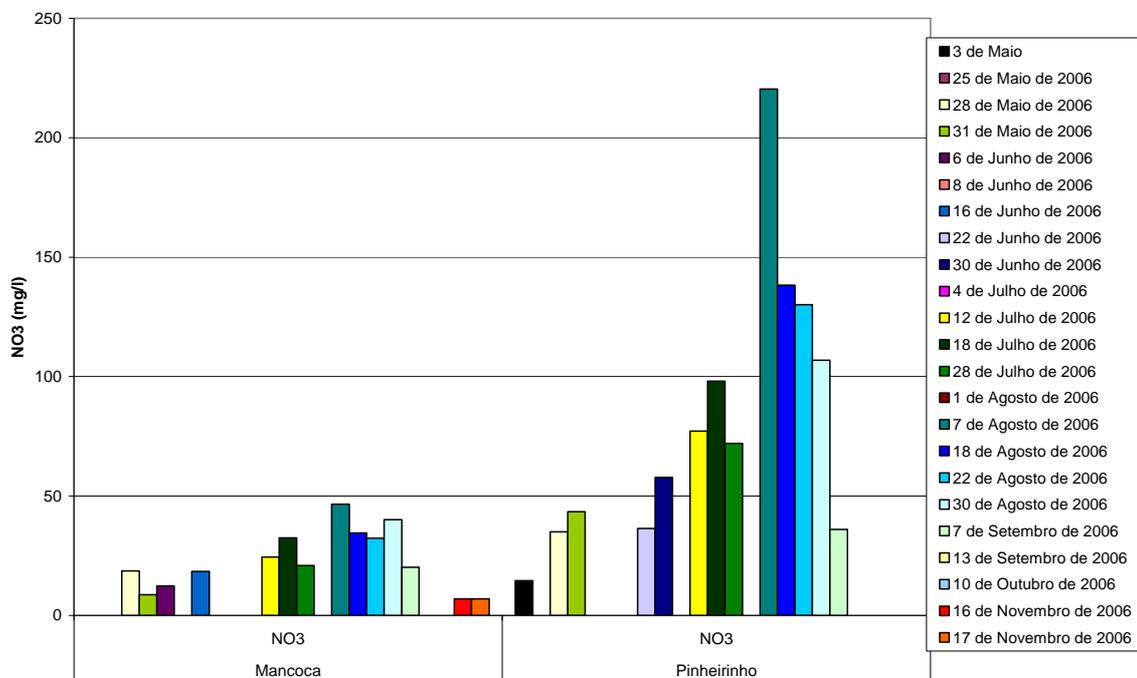


Fig. 31 - Resultados da variação das concentrações em nitrato nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios

Um outro aspecto que se procurou analisar nas águas subterrâneas do Pinheirinho foi a variação da concentração em zinco, já que alguns dos fertilizantes utilizados continham este elemento (*cf.* Fig. 5). A Fig. 32 apresenta os resultados das três análises efectuadas.

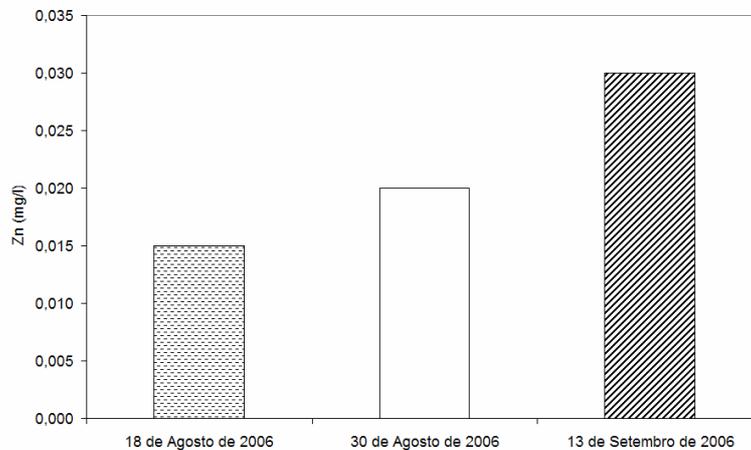


Fig. 32 - Variação da concentração em zinco nas águas subterrâneas do Pinheirinho

Efectivamente, os valores são bastante baixos, inferiores ao VMR de 0,5 mg/L da água destinada à produção de água para consumo humano, embora se observe uma subida clara entre as amostras sucessivamente recolhidas. Este aspecto será aprofundado no próximo relatório.

7 Modelação da recarga de águas subterrâneas

7.1 Introdução

Na sequência dos trabalhos de caracterização dos solos e das dotações de fertilizantes, Paralta et al (2006) utilizando dados climatológicos e piezométricos entre 2002 e 2005 aplicou o modelo EARTH (Van der Lee e Gehrels, 1990) na avaliação da recarga de águas subterrâneas e transporte de humidade no solo e zona vadosa, com base nos registos de 5 piezómetros situados na área da infra-estrutura 12.

Vários estudos indicam que a intensificação das práticas agrícolas e o regadio intensivo conduzem, a prazo, ao aumento da concentração de sais nas águas subterrâneas, nomeadamente em cloretos e nitratos.

Com este trabalho preliminar de modelação pretendeu-se quantificar a recarga aquífera natural e estimar, com base em cenários de dotações de fertilizantes e técnicas de irrigação, o volume de sais i.e. nitratos (NO_3^-) ou outros, susceptíveis de atingir o aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade e afectar o sistema ecológico (ribeiras e linhas de água).

Do ponto de vista agro-ambiental é importante definir a frequência e magnitude dos eventos de recarga em que o potencial de lixiviação de fertilizantes é maior, no sentido de contribuir para uma gestão mais racional dos agro-químicos e estimar o volume de perdas para as águas subterrâneas.

A distribuição temporal da recarga tem impacto ao nível das fontes difusas de poluição, em especial nos aquíferos livres subsuperficiais, através da remobilização e lixiviação dos agro-químicos e fertilizantes em excesso no solo até à zona saturada, que se encontra normalmente a pouca profundidade.

7.2 Ocupação agrícola da infra-estrutura 12

Os solos dominantes na Infra-estrutura 12 podem ser agrupados em 4 grandes classes, por ordem decrescente de fertilidade, correspondentes a Barros, Para-Barros e Aluviões (48%), solos Mediterrâneos e Calcários (27%), solos Hidromórficos (26%) e solos de baixa fertilidade (5%).

No que se refere à ocupação agrícola, obtida a partir de dados de Detecção Remota (CNIG/Corine Land-Cover, 1987) e calculada através de SIG, predominavam em 1987 as culturas anuais de sequeiro (nomeadamente a rotação cereal-girassol), contra 5% de regadios e 3% de arrozais.

De acordo com Colaço (2001), as culturas anuais de sequeiro, essencialmente cereais, ocupavam cerca de 468 ha (8% da área do perímetro de rega) e as culturas de regadio cerca de 1273 ha (22% da área do perímetro de rega), em que predominam os cereais de regadio, as oleaginosas e a beterraba.

Actualmente, as culturas de regadio ocupam já uma extensão de 35% (1740 ha) da área da Infra-estrutura 12, em que predominam o milho, a beterraba e o girassol.

Alguns autores calcularam perdas por lixiviação em áreas agrícolas na ordem de 20% (Almeida e Silva, 1987; Custódio e Llamas 1996). Vários estudos internacionais indicam que as taxas de lixiviação do NO_3^- se situam entre 10-50% da aplicação de fertilizante em solos com boa drenagem (Böhlke, 2002).

7.3 Modelação preliminar da recarga de águas subterrâneas

Numa primeira abordagem desta temática, utilizou-se uma metodologia semiempírica de avaliação da recarga directa ou seja com origem na precipitação e percolação vertical da água através da zona vadosa até à superfície freática. Numa fase subsequente deste Estudo serão possivelmente aplicadas outras metodologias de abordagem deste tema, designadamente as referidas em Oliveira (2006).

O modelo EARTH é um modelo de avaliação da recarga de águas subterrâneas e transporte de humidade no solo e zona vadosa que faz uma combinação dos métodos directos e indirectos de abordagem da recarga.

Os métodos indirectos utilizam informação piezométrica como indicadores da recarga efectiva, ou seja, sempre que há variações positivas do nível piezométrico estamos perante um episódio de recarga possível de quantificar, desde que se conheçam alguns parâmetros básicos do sistema hidrogeológico, como o coeficiente de armazenamento (S), o coeficiente de recessão CR (período de tempo entre o episódio de precipitação e a resposta do aquífero), a condutividade hidráulica (K), entre outros.

As principais atribuições de cada módulo do modelo EARTH são as seguintes (cf. Fig. 33):

- MAXIL (MAXimum Interception Loss) - Estima o superavit hídrico;
- SOMOS (SOil MOisture Storage) - Calcula o balanço de massa na zona vadosa e determina o fluxo de percolação profunda;
- SUST (SUrface STorage) - Calcula as perdas por escoamento superficial;
- LINRES (LInear REServoir routing) - Distribui a percolação calculada no módulo SOMOS em função do tempo para a zona não saturada, entre as raízes das plantas e o nível freático;
- SATFLOW (SATurated FLOW model) – modelo unidimensional para o meio saturado que converte a recarga proveniente do módulo LINRES em oscilação piezométrica, conhecido o coeficiente de armazenamento e o coeficiente de recessão.

A formulação matemática do modelo EARTH pode ser consultada em Van der Lee e Gehrels (1990).

O modelo EARTH está vocacionado para climas secos com precipitações concentradas e para aquíferos livres, com respostas rápidas aos episódios de recarga. Os parâmetros necessários ao funcionamento do modelo, tais como as propriedades hidráulicas dos solos, precipitação, evapotranspiração, oscilação piezométrica, entre outros, foram obtidos entre 2001 e 2005 com base em trabalhos de campo e registos climáticos do Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio - COTR (<http://www.cotr.pt/cotr.asp>).

Conceptualmente, o nível piezométrico medido num furo traduz a resposta do aquífero ao escoamento subterrâneo, à recarga do sistema e à sua exploração. Para além da recarga natural do sistema, o nível piezométrico traduz também a recarga por infiltração dos excedentes da rega. Por outro lado, havendo extracções de águas subterrâneas, estas fazem baixar globalmente o nível piezométrico do sistema. Finalmente se a recarga for espacialmente diferenciada, para além de subidas diferentes de nível num e noutro local, estas subidas induzirão escoamento subterrâneo, o que por sua vez afectará o próprio nível piezométrico. Nesta fase estes aspectos ainda não foram considerados no modelo EARTH uma vez que não houve nem extracções nem regas com expressão assinaláveis para o período de calibração, tendo-se apenas considerado que o nível piezométrico é função da recarga natural, e tendo-se

calibrado o modelo com base neste pressuposto. A aplicação do modelo aos anos 2006 e 2007 terá já estes aspectos em consideração, de forma a atender à rega e a eventuais extracções.

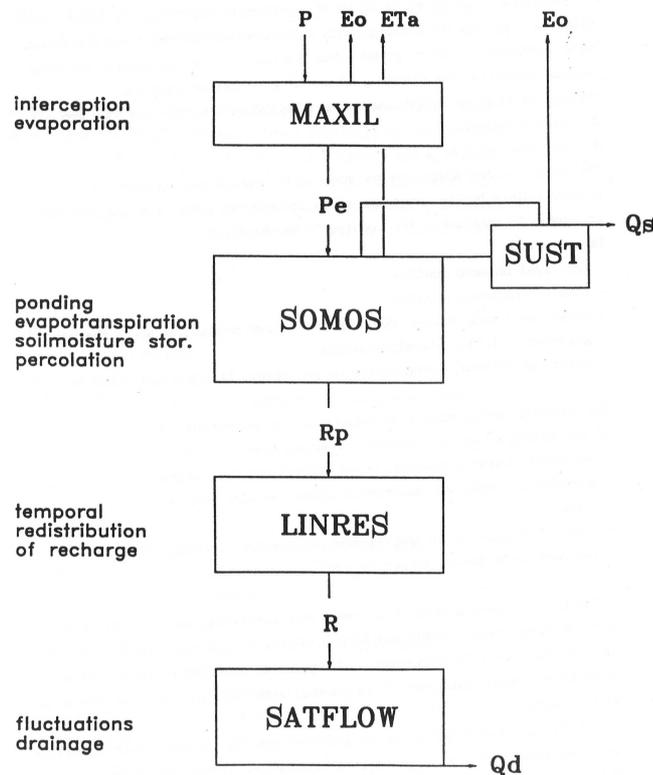


Fig. 33 - Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário EARTH (cf. Van der Lee e Gehrels, 1990)

Os parâmetros de entrada do modelo estão descritos no Quadro 32 e as estimativas de recarga com base na calibração das curvas piezométricas de 5 poços entre 2002 e 2005 apresentam-se no Quadro 33.

Quadro 32 - Parâmetros de calibração do modelo EARTH (2002-2005)

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Max soil moisture (mm)	164	579
Residual soil moisture (mm)	15	75
Initial soil moisture (mm)	38	161
Soil moisture at field capacity (mm)	107	251
Maximum surface storage (mm)	100	100
Maximum interception loss (mm)	1.5	1.5
Saturated conductivity (mm/day)	500	500
Unsaturated recession constant	5	15
Number of reservoirs	1	2
Saturated recession constant (day)	100	268
Storage coefficient	0,0288	0,0841

A Fig. 34 indica a curva teórica do modelo EARTH ajustada aos dados experimentais e a respectiva precipitação e recarga no período de 2002 a 2005.

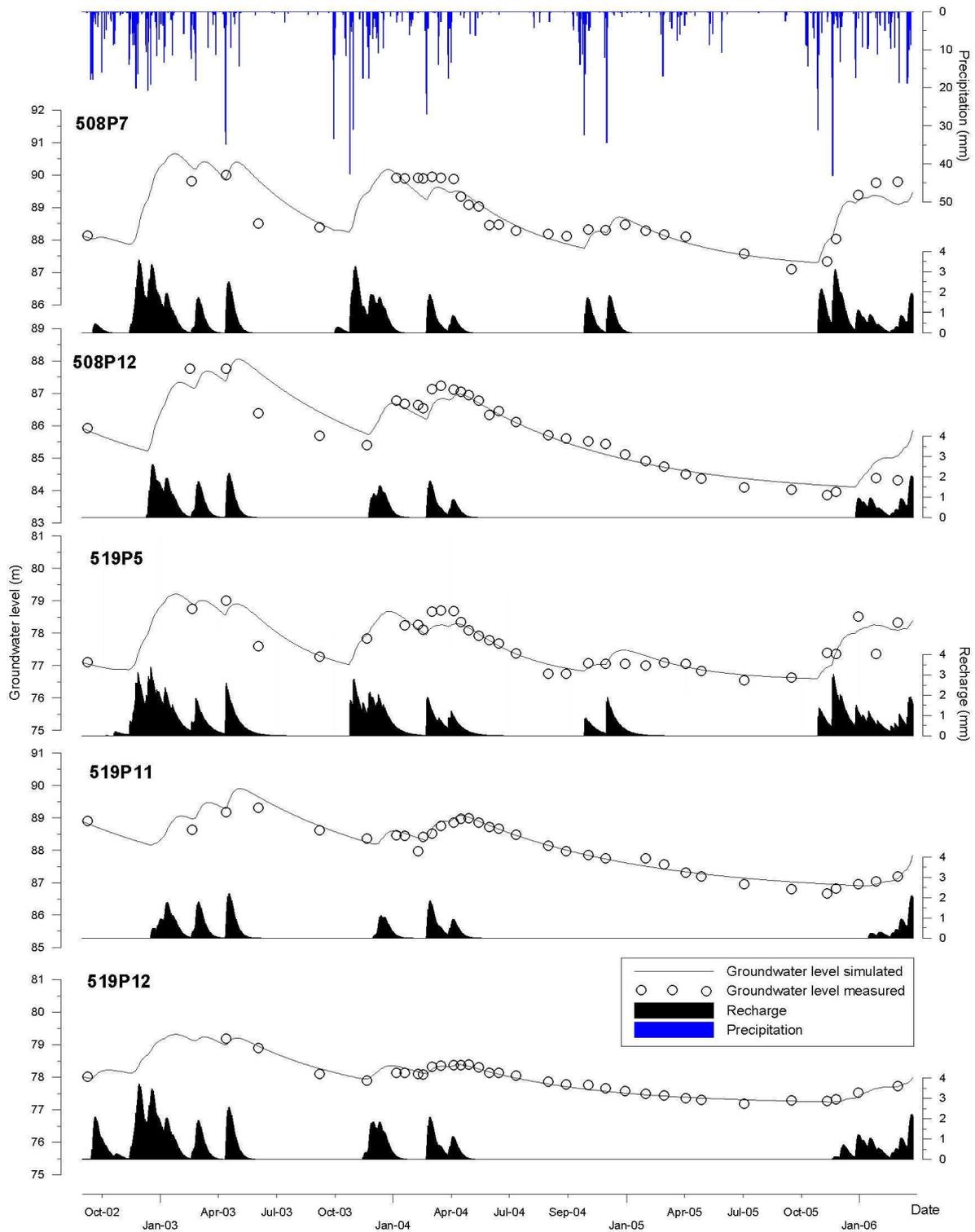


Fig. 34 - Curvas de calibração e recarga estimada pelo modelo EARTH em 5 piezómetros

Quadro 33 - Resultados do modelo EARTH (2002-2005)

Período	Piezómetros				
	508 P7	508 P12	519 P5	519 P11	519 P12
Precipitação 2002-2003 (mm)			596		
Recarga 2002-2003 (mm)	214	141	240	109	246
n.º de dias com recarga	257	190	322	183	261
Precipitação 2003-2004 (mm)			448		
Recarga 2003-2004 (mm)	156	84	174	68	109
n.º de dias com recarga	230	177	281	171	188
Precipitação 2004-2005 (mm)			273		
Recarga 2004-2005 (mm)	53	0	47	0	0
n.º de dias com recarga	99	0	164	0	0

Verifica-se que a recarga obtida no ano hidrológico de 2002-2003 varia entre 18% e 41%. Para os anos hidrológicos de 2003-2004 e 2004-2005 oscilou entre 15% e 39% e 0% a 19%, respectivamente. Os fenómenos de precipitação que originam eventos de recarga de águas subterrâneas são escassos durante o semestre húmido.

No ano hidrológico de 2002-2003 registaram-se 3 conjuntos de eventos de recarga principais, provocados por precipitações normalmente acima de 30 mm/dia. O 1.º iniciou-se em meados de Novembro 2002, o 2.º em meados de Fevereiro 2003 e o último em meados de Abril 2003, embora a percolação residual calculada pelo modelo se estenda até Junho 2003. Em 2003-2004 registaram-se nos piezómetros monitorizados 2 a 3 conjuntos de eventos de recarga principais. O 1.º iniciou-se em Outubro e Novembro 2003, associada a intensa precipitação, com vários episódios diários acima de 30 mm. O 2.º mais importante ocorreu em meados de Fevereiro 2004 associado a 2 dias de precipitação acima 20 mm.

Em 2004-2005 registou-se um ano seco, com precipitação anual de 273 mm. Apenas em 2 piezómetros (508P7 e 519P5) se registaram 2 eventos de recarga, respectivamente em finais de Outubro 2004 e início de Dezembro de 2004, associados episódios pontuais de precipitação acima de 20 mm.

7.4 Conclusões

O factor natural do ciclo hidrológico responsável pela percolação dos contaminantes agrícolas até à zona saturada é a recarga.

A avaliação das condições hidrogeológicas, e em especial da recarga aquífera, sob a forma de modelos em tempo real, permite determinar com razoável previsão o volume de água que entra no aquífero e, desta forma, estimar com base nos usos do solo e das práticas agrícolas, o teor em agro-químicos lixiviados associados aos eventos mais importantes de recarga.

Será possível prever a qualidade da água de recarga, em função da dotação de fertilizantes das culturas de Inverno e do azoto residual no solo, e desta forma avaliar o impacte que a lixiviação dos agro-químicos terá no sistema hidrológico local.

De acordo com o modelo EARTH, a recarga do aquífero livre miocénico na área da infraestrutura 12 deverá situar-se entre 20% a 40% da precipitação em ano médio ou seja, entre 105 e 210 mm/ano, de acordo com as características naturais do terreno e da ocupação do solo.

Será importante considerar que, em função do regime torrencial da precipitação, os eventos principais de recarga são escassos e estão associados a precipitação pontual normalmente acima de 20 mm.

8 Optimização da ocupação do solo na região

A optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada é um dos aspectos fulcrais do estudo em curso, a ser realizado pela equipa da Universidade de Coimbra, trabalho esse apenas previsto para o último ano do projecto. Pretende-se construir um instrumento de decisão que permita maximizar os benefícios do uso agrícola do solo, considerando os diferentes tipos de solos presentes na área, as práticas de fertilização de cada cultura e a vulnerabilidade das águas subterrâneas.

Em 2006 foi efectuada uma análise do estado da arte sobre modelos de apoio à decisão para a selecção dos tipos de culturas economicamente mais adequados a condições vegetativas específicas, para a afectação de solos por tipo de cultura, para a afectação de água por tipo de cultura, para o escalonamento de regas e para a gestão de défices tendo em consideração a resposta das culturas nos diferentes períodos vegetativos. A este propósito analisaram-se diferentes tipos de funções de produção e a respectiva inclusão em modelos de apoio à decisão.

Este trabalho será aprofundado durante 2007 e 2008, de acordo com a programação inicialmente prevista.

9 Considerações finais

O relatório que se apresenta trata a informação relativa aos ensaios de duas culturas, de milho e de girassol, realizados em três parcelas regadas, uma no Monte da Mancoca e as outras duas no Monte do Pinheirinho, correspondentes a 2 solos diferentes. Atendendo a que os objectivos do projecto passam por obter a informação necessária para integrar o conhecimento dos diferentes processos que interferem na migração dos poluentes de origem

agrícola (fertilização de solos), para diferentes meios, foi analisada a qualidade dos diferentes meios atravessados pela água de rega: solos, zona vadosa e águas subterrâneas. Estes meios foram analisados em diversas datas e a diferentes profundidades ao longo dos ensaios, de forma a acompanhar a sua evolução no espaço e no tempo. Essa análise foi complementada com análises das características físico-químicas dos solos e com análises de águas da zona envolvente às parcelas, em poços, piezómetros, água do canal de rega, entre outros.

Durante 2007 serão realizados novos ensaios integrando novas culturas e tipos de solo, bem como outros processos de irrigação, que permitirão complementar a informação obtida em 2006. Espera-se que, do conjunto de resultados a obter e do seu tratamento, se possa vir a consubstanciar informação suficiente para apontar a utilização futura de culturas mais sustentáveis e de melhores práticas agrícolas.

Os dados obtidos em 2006 permitiram verificar de forma clara a influência das práticas agrícolas na qualidade das águas e solos a jusante. Durante o próximo ano, essa informação e a nova informação a recolher será trabalhada com maior detalhe, designadamente através da modelação numérica dos dados e da optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada com recurso a modelos de apoio à decisão.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Fevereiro de 2007

VISTOS

J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas

Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

AUTORIAS

Teresa E. Leitão
Doutora em Hidrogeologia
Investigadora Principal do LNEC
Núcleo de Águas Subterrâneas

Isabel Laranjeira
Eng.ª Agrícola da Universidade de Évora
Aquisição de Serviços do Projecto FCT no
Núcleo de Águas Subterrâneas

Maria José Henriques
Geóloga
Técnica Principal do LNEC
Núcleo de Águas Subterrâneas



Eduardo Paralta
Geólogo, Mestre em Georrecursos
Instituto Superior Técnico

BIBLIOGRAFIA

Almeida, C. e Silva, M. L., 1987 - *Incidence of agriculture on water quality at Campina de Faro (south Portugal)*. IV Simposio de Hidrogeología de la Asociación Española de Hidrología Subterránea, Palma de Mallorca, 5 a 9 de Octubre de 1987.

Ayers, R. e Westcot, D., 1985 - *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. Rome, Italy.

Böhlke, J.K., 2002 - *Groundwater recharge and agricultural contamination*. Hydrogeology Journal, Vol. 10, pp. 153-179.

Chia H. e Correia V., 2002 - *Conservação e mobilização do solo*. Actas das comunicações apresentadas no seminário "Conservação do Solo e da Água em Regadio" no âmbito dos projectos POCTI 34149/AGR/2000 e POCTI 34847/AGR/2000; AGRO 14 e AGRO 17 na Universidade de Évora, em Dezembro de 2002.

Colaço, A. M., 2001 - *Contribuição para a Avaliação do Estado da Rega na Zona de Infra-estrutura 12*. Relatório de Projecto, 2001.

Costa, J.B., 1999 - *Caracterização e constituição do solo*. Fundação Calouste Gulbenkian. 6.ª edição. Lisboa.

Custódio, E e Llamas, M. R., 1996 - *Hidrologia subterranea*, 2.ª edição, Tomo I e II, Ediciones Omega, Barcelona, 2350 pp.

Custodio, E. e Llamas, M.R., 1976 - *Hidrología Subterránea*. 1ª Edição, Barcelona, Ediciones Omega, S.A., 1976, 1157 pp.

Gonçalves, M.C., Martins, J.C., Castanheira, N., Santos, F.L., Neves, M.J., Reis, J., Prazeres, A., Ramos, T., Fonte, S., Pires, F., Bica, M. e Bica, J., 2005 - *Interação da salinidade e da fertilização azotada na produtividade do milho-grão*. Comunicação apresentada ao I Congresso de Rega e Drenagem, organizado pelo Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio – COTR, Beja, 5 a 7 de Dezembro de 2005, 20 pp.

Oliveira, M.M., 2006 - *Métodos de avaliação da recarga de águas subterrâneas*. In Tecnologia da Água, Volume 46 - Edição II, Novembro/Dezembro, pp. 14 a 22.

Paralta, E.; Francés, A. e Ribeiro, L., 2006 - *Modelação da recarga do aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade e implicações ao nível da contaminação agrícola (um caso de estudo na Infra-estrutura 12 – Bloco de Rega de Canhestros/Ferreira do Alentejo)*. Actas/CD 5.º Congresso Ibérico – Gestão e Planeamento da Água. Faro, 4 - 8 de Dezembro de 2006, 12 pp.

Richards, L.A., 1954 - *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Handbook 60. Washington, USA, 160p.

Toureiro C.M., 2003 - *Uma estratégia para apoiar a implementação de um sistema de avisos de rega aos agricultores*. Actas das comunicações apresentadas no Seminário "Conservação

do solo e da água em regadio: investigação, experimentação e divulgação" no auditório do Instituto Politécnico de Beja.

Van der Lee e Gehrels, J. C., 1990 - *Modelling Aquifer Recharge. Introduction to the Lumped Parameter Model EARTH*. Hydrological Report, Free University of Amsterdam. The Netherlands, 1990, 30 pp.