

Área temática LNEC	Ambiente e sustentabilidade
Projecto de investigação	P4: Prevenção da poluição e reabilitação da qualidade das águas subterrâneas E15: Protecção dos recursos hídricos subterrâneos da poluição difusa proveniente da actividade agrícola
Investigador responsável	Teresa E. Leitão
Processos n.ºs	0607/11/16255 (0607/14/15799; 0607/17/14699; 0607/19/15437)



### Objectivos

O objectivo global do projecto foi "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".

Para esse efeito foram seleccionadas áreas de estudo em três parcelas regadas de Ferreira do Alentejo onde se efectuou a monitorização de solos e de águas (de rega, de escorrência, da zona vadosa e águas subterrâneas) para avaliar o efeito de diferentes culturas nas águas de jusante das mesmas. Esses dados foram modelados e foram analisados cenários da optimização da melhor ocupação do

solo para a região estudada, com recurso a modelos de apoio à decisão.

Neste estudo foram adquiridos os conhecimentos necessários para consubstanciar as melhores opções científicas e técnicas que compatibilizam e optimizam essas práticas agrícolas, respeitando simultaneamente consumos de água mais baixos e o bom estado de qualidade das águas a jusante de perímetros agrícolas. O projecto centrou-se, portanto, na análise do impacte das práticas agrícolas na qualidade das águas subterrâneas através de uma análise integrada e interdisciplinar, por forma a encorajar futuras utilizações de práticas agrícolas mais sustentáveis do ponto de vista da protecção da qualidade do recurso água.

### Instalações experimentais mais relevantes

Este projecto contou com dois tipos de instalação principais, uma no laboratório do Núcleo de Águas Subterrâneas (Figura 1) e outra representada pelo conjunto dos locais de campo ensaiados (Figura 2). Nas instalações em laboratório foram efectuados diversos ensaios de migração de nitratos ao longo de diversas colunas de solos saturados. As

instalações referidas na Figura 2 representam todas as infra-estruturas de monitorização de parâmetros físicos e químicos dos solos, da zona vadosa e da zona saturada onde foram recolhidos semanalmente, durante o ciclo de cultura, os resultados que se apresentam de seguida.



Figura 1 • Instalações experimentais no laboratório do Núcleo de Águas Subterrâneas



Figura 2 • Instalações experimentais de campo

## Principais desenvolvimentos

O desenvolvimento do projecto inclui:

- Selecção de uma pequena bacia hidrográfica em parcelas regadas de Ferreira do Alentejo (Figuras 3 e 4).
- Caracterização do sistema agro-hídrico – Inventariação e quantificação das fontes de poluição difusa, inventariação de culturas, identificação dos fertilizantes e tipos de tratamentos para cada cultura, métodos de rega, e como consequência, o movimento dos poluentes no solo, zona vadosa e águas subterrâneas.
- Caracterização e modelação da zona vadosa – Caracterização das propriedades hidráulicas do solo e da zona vadosa, e calibração de um modelo de escoamento e transporte da zona vadosa.
- Modelação do escoamento e do transporte de massa para análise das interacções entre as águas subterrâneas e as de superfície; modelação do balanço de massas; cálculo da recarga; monitorização das águas subterrâneas (nitratos, pesticidas, fosfatos, e nível piezométrico).
- Optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada através de um modelo de decisão que permite maximizar os benefícios do uso agrícola do solo, considerando simultaneamente a protecção das águas subterrâneas.

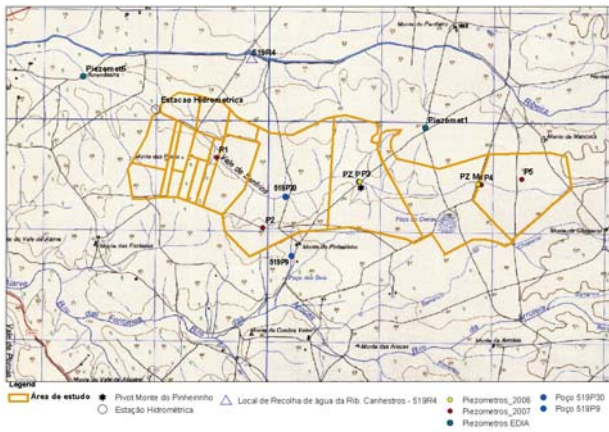


Figura 3 • Bacia hidrográfica em Ferreira do Alentejo e localização de algumas infra-estruturas de monitorização

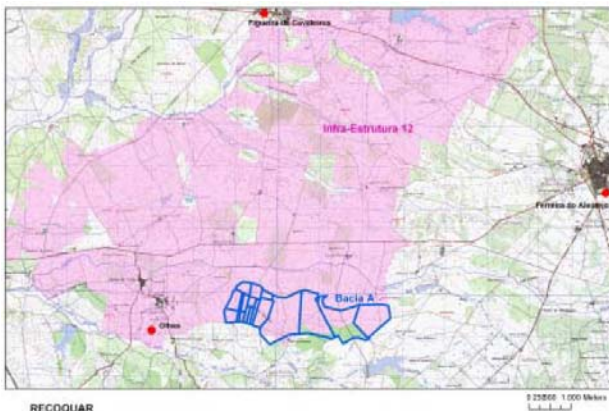


Figura 4 • Localização da bacia relativamente ao perímetro de rega da Infra-estrutura 12 de Alqueva

Os locais de estudo seleccionados foram três parcelas regadas, uma no Monte da Mancoca (Figura 3) e as duas no Monte do Pinheiro, onde foram monitorizados os efeitos das culturas do milho e do girassol, em 2006, e do milho, do melão e da melancia, em 2007. O trabalho experimental permitiu obter informação e conhecimentos sobre os efeitos de diferentes práticas agrícolas nas águas de escorrência (Figura 5) e nos processos que interferem na migração dos poluentes de origem agrícola (fertilização de solos), para diferentes meios (solos, zona vadosa – Figura 6 e águas subterrâneas – Figura 7). 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.

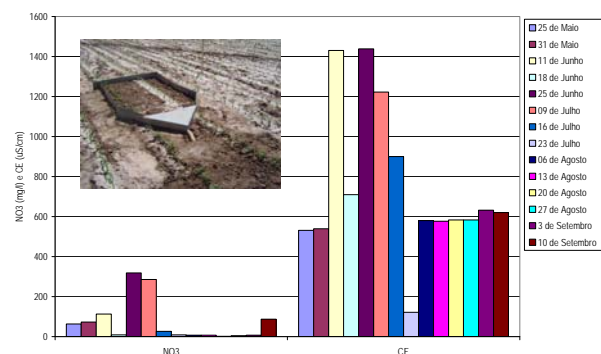


Figura 5 • Variação da condutividade eléctrica e nitratos num talhão de escorrência, em 2007

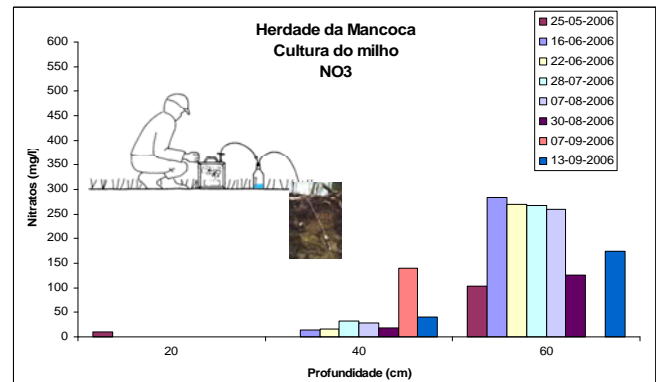


Figura 6 • Variação dos nitratos em águas da zona vadosa, em 2006

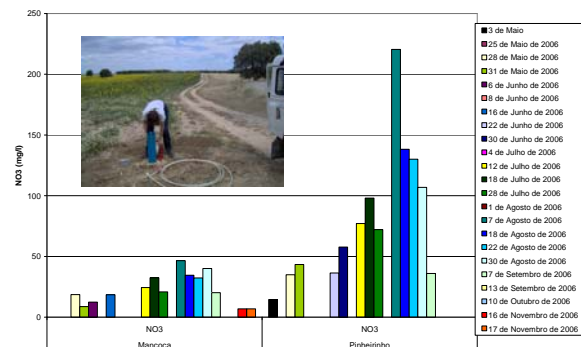


Figura 7 • Variação dos nitratos em águas subterrâneas, em 2006



Os dados obtidos permitiram verificar a influência das práticas agrícolas na qualidade das águas e solos a jusante, com diferenças assinaláveis entre culturas e práticas associadas. Nas referências bibliográficas abaixo assinaladas apresentam-se em maior detalhe os resultados obtidos.

A aplicação do índice DRASTIC, para determinação da vulnerabilidade à poluição nesta área agrícola, foi efectuada para poluentes conservativos (Figura 8) e para pesticidas. Verificou-se que a área em estudo apresenta essencialmente áreas com vulnerabilidade baixa e intermédia à poluição para o primeiro caso e vulnerabilidade intermédia, havendo algumas áreas com vulnerabilidade baixa e vulnerabilidade alta, para o caso dos pesticidas.

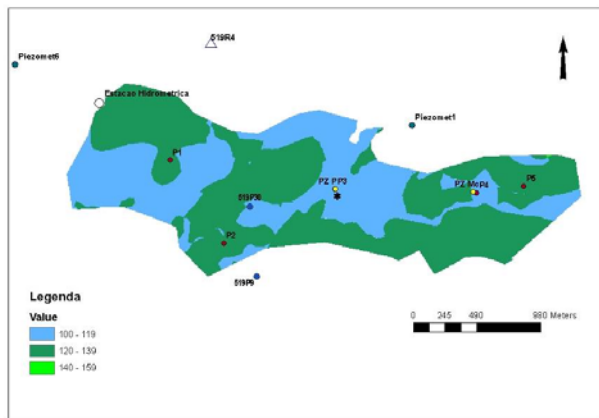


Figura 8 • Resultados da aplicação do índice DRASTIC de vulnerabilidade à poluição para poluente conservativos

Foi efectuada a modelação matemática do escoamento e do transporte em águas subterrâneas, calibrado com base nas medições de piezometria em furos e piezómetros monitorizados na área (Figura 9). O objectivo dessa modelação foi: (1) estudar as principais linhas de fluxo do escoamento subterrâneo (Figura 10); (2) analisar o tempo de percurso e (3) analisar os efeitos que as diferentes ocupações agrícolas do solo podem ter na qualidade das águas de jusante, pelo que foram simulados diversos cenários de ocupação agrícola.

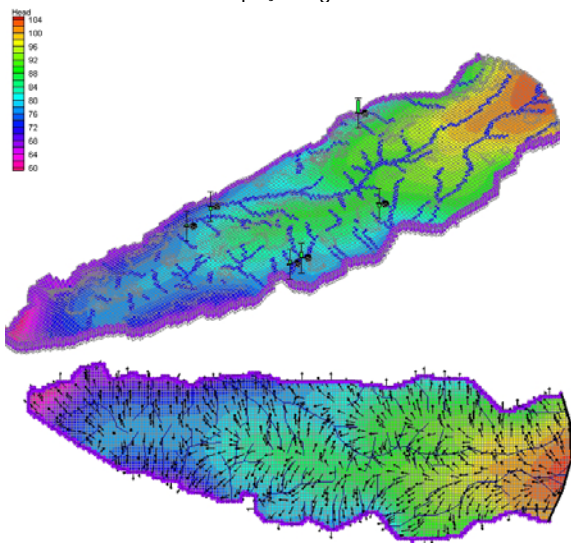


Figura 9 • Resultados da aplicação do modelo GMS para simular a piezometria e a direcção do fluxo no aquífero freático

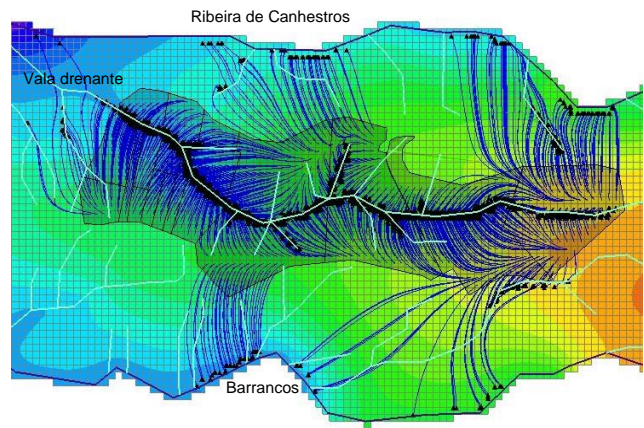


Figura 10 • Resultados da aplicação do modelo GMS para simular as principais linhas de fluxo subterrâneo da área de interesse

Por fim, toda a integração da informação do projecto foi desenvolvida através de um modelo de apoio à decisão, cujo esquema de base é apresentado na Figura 11. Este modelo teve por objectivo construir um instrumento de decisão que permite maximizar os benefícios do uso agrícola do solo, tendo em consideração os diferentes tipos de solos presentes na bacia hidrográfica, as práticas de fertilização de cada cultura, a disponibilidade e a vulnerabilidade das águas subterrâneas, os custos derivados de alteração de culturas e aspectos socio-económicos. Pretendeu-se, desta forma, avaliar as práticas culturais existentes na bacia hidrográfica e propor práticas alternativas que conduzam a uma mais eficiente utilização da água e dos nutrientes, de forma a reduzir o potencial de lixiviação dos nitratos e a contaminação das águas subterrâneas e/ou superficiais.

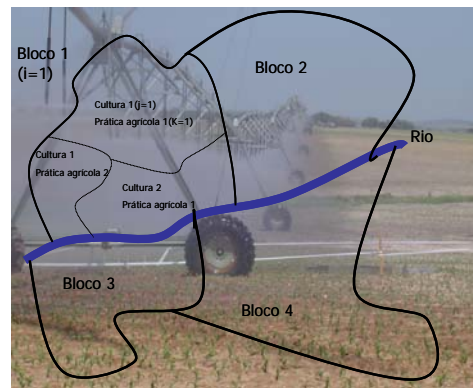


Figura 11 • Esquema base do modelo de apoio à decisão

A função objectivo genérica a considerar no modelo de decisão é a seguinte:

$$\max BLA = \sum_{ijk} (p_j y_{aijk} A_{ijk}) - \sum_{ijk} (ca_{ijk} A_{ijk}) - \sum_{ijk} (ci_{ijk} I_{ijk}) - t_p \sum_i N_i$$

onde:

$BLA$ : benefício líquido da actividade agrícola;

$i$ : índice do bloco agrícola;

$j$ : índice da cultura;

$k$ : índice da prática agrícola;

$p_j$ : preço unitário de venda da cultura  $j$ ;

$y_{aijk}$ : produção real de cultura  $j$  no bloco  $i$  com a prática agrícola  $k$ ;

$A_{ijk}$ : área do bloco  $i$ , com a cultura  $j$  com a prática agrícola  $k$ ;

$ca_{ijk}$ : custo unitário de sistematizar, preparar e operar o bloco  $i$ , com a cultura  $j$ , com a prática agrícola  $k$ ;

$ci_{ijk}$ : custo unitário de obtenção da água para irrigação do bloco  $i$ , com a cultura  $j$ , com a prática agrícola  $k$ ;

$t_p$ : custo (taxa) unitário de poluição;

$N_i$ : poluição decorrente do bloco agrícola  $i$ .

**Equipa de trabalho  
LNEC**

Nome	Função
Teresa E. Leitão	Investigadora responsável
João Paulo Lobo Ferreira	Investigador-Coordenador
Isabel Laranjeira	Estagiária de mestrado
Luís Oliveira	Estagiário de mestrado
Malva Mancuso	Investigadora Auxiliar
Maria José Henriques	Técnica Superior
Manuel M. Oliveira	Investigador Auxiliar

**Equipa de trabalho  
Externa**

Nome	Observações
Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas (ICAM/Univ. Évora)	Parceiros do projecto FCT-POCI, Proc. 0607/14/15799
Instituto do Mar (IMAR/Univ. Coimbra)	Parceiros do projecto FCT-POCI, Proc. 0607/14/15799
Instituto Superior Técnico (IST)	Parceiros do projecto FCT-POCI, Proc. 0607/14/15799
Centro Operativo de Tecnologia de Regadio (COTR)	Parceiros do projecto FCT-POCI, Proc. 0607/14/15799
Estação Agronómica Nacional (EAN)	Colaboradores no projecto AGRO 727, Proc. 0607/19/15437
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	Colaboradores no projecto GRICES-CNPq, Proc. 0607/19/14699

**Outras fontes de financiamento**

Programa da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT-POCI): Projecto "Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa", Proc. 0607/14/15799 (2005-2008).

Programa AGRO 727: Projecto "Demonstração e Divulgação de Técnicas e Gestão Integrada de Salinidade em Solos Regáveis do Alentejo", Proc. 0607/19/15437 (2004-2007).

Programa de cooperação internacional GRICES-CNPq entre o LNEC e a Universidade Federal de Pernambuco (Brasil): Projecto "Interacção Quantitativa e Qualitativa de Águas Superficiais – Águas Subterrâneas: Optimização da Exploração de Águas Subterrâneas e Monitorização, Avaliação e Aperfeiçoamento de Barragens Subterrâneas", Proc. 0607/19/14699 (2003-2006).

## Publicações mais relevantes internacionais

### Revistas e Livros

LEITÃO, T.E., MONTENEGRO, S.M.G.L. e ALMEIDA, T.A., 2007 - Capítulo 8 - Qualidade da Água no Solo em Regiões Semiáridas, in "O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas", ed. J.A. Cirilo, J.J. Cabral, J.P. Lobo Ferreira, M.M. Oliveira, T.E. Leitão, S.M. Montenegro e V.C. Góes, pp. 365-438.

LEITÃO, T.E., CUNHA, M.C., LARANJEIRA, I., LOBO FERREIRA, J.P. e PARALTA, E., 2008 - An Integrated Framework for Sustainable Agriculture Land Use and Production Practices. In Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies II, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 112, Edited by C.A. Brebbia, Y. Villacampa Esteve, D. Prats Rico, WIT press, pp. 213-222

### Reuniões técnico-científicas

PARALTA, E.A., FRANCÉS, A.P. 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. Comunicação apresentada ao 5.º Congresso Ibérico - Gestão e Planeamento da Água, Faro, 4-8 Dezembro de 2006.

CUNHA, M.C., 2006 - Irrigation Management: The Optimization Perspective. Comunicação apresentada ao SI 2006.

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., PARALTA, E. e CUNHA, M.C., 2007 - Contributos para a Protecção dos Recursos Hídricos Subterrâneos numa Área Agrícola com Características Semi-Áridas em Portugal. Comunicação apresentada à II Conferência Internacional de Água em Regiões Áridas e Semi-Áridas, organizada pela Associação Brasileira de Recursos Hídricos, pela Universidade Federal de Pernambuco e pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Gravatá, Brasil, 9 a 12 de Setembro, 4 pp.

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., PARALTA, E., CUNHA, M.C. e LOBO FERREIRA, J.P., 2008 - Methodologies for a Better Rural Land Use Planning and Management Considering Aquifer Vulnerability to Diffuse Pollution. Comunicação apresentada ao "Workshop ASEMWATERNet WP Basin", organizado pelo Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), pelo Sustainable Water Resources Research Center e pelo LNEC, Jeju Island, Coreia, 28 de Janeiro a 1 de Fevereiro de 2008, 4 pp.

LEITÃO, T.E., CUNHA, M.C., LARANJEIRA, I., LOBO FERREIRA, J.P. e PARALTA, E., 2008 - An Integrated Framework for Sustainable Agriculture Land Use and Production Practices. In Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies II. Comunicação apresentada ao Second International Conference on Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies II, Alicante, Espanha, 11-13 de Junho de 2008.

## Publicações mais relevantes nacionais

### Relatórios

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., HENRIQUES, M.J., PARALTA, E. e MOINANTE, M.J., 2006 - Metodologias para um Melhor Planeamento e

Gestão do Uso do Solo Agrícola Atendendo à Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição Difusa. Relatório de Progresso de 2005. Projecto FCT n.º POCI/AGR/57719/2004, Janeiro de 2006, 19 pp.

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., HENRIQUES, M.J. E PARALTA, E., 2007 - Metodologias para um Melhor Planeamento e Gestão do Uso do Solo Agrícola atendendo à Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição Difusa. 2.º Relatório 75/07 - NAS, LNEC, 65 pp.

LEITÃO T.E., LARANJEIRA, I., OLIVEIRA, L., PARALTA E. e CUNHA, M.C., 2008 - Metodologias para um Melhor Planeamento e Gestão do Uso do Solo Agrícola atendendo à Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição Difusa. 3.º Relatório. Relatório 48/2008 - NAS, LNEC, 68 pp.

SANTOS, F.L., GONÇALVES, M.C., NEVES, R., LEITÃO, T. e GUERREIRO, C., 2008 - Projecto AGRO 727 - Demonstração e Divulgação de Gestão Integrada da Salinidade e da Fertilização Azotada em Solos Regáveis do Alentejo. Relatório Final de Projecto. Relatório EAN, COTR, LNEC, IST, UE, ICAM, Janeiro de 2008, 331 pp.

### Revistas

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., HENRIQUES, M.J., LOBO FERREIRA, J.P., PARALTA, E., RIBEIRO, L., CUNHA, M.C. e SERRALHEIRO, R., 2007 - Metodologias para um Melhor Planeamento e Gestão do Uso do Solo Agrícola Atendendo à Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição Difusa. Revista Tecnologia da Água, Edição II, Abril/Junho 2007, pp. 38 a 43.

### Reuniões técnico-científicas

LEITÃO, T. E., HENRIQUES, M. J., GONÇALVES, M. C., CASTANHEIRA, N., PRAZERES, A., FONTE, S., REIS, J., 2005 - Análise do Efeito da Utilização de Água de Rega com Diferentes Salinidades na Mobilidade do Azoto no Solo. Artigo apresentado ao 8.º Congresso da Água, 13-17 Março de 2006, Figueira da Foz.

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., e HENRIQUES, M.J., 2007 - Metodologias para um Melhor Planeamento e Gestão do Uso do Solo Agrícola atendendo à Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição Difusa. Comunicação apresentada ao Seminário sobre Águas Subterrâneas, organizado pela APRH, Lisboa, 1 e 2 de Março de 2007, 16 pp.

### Organização de Encontros

Workshop sobre "Planeamento e Gestão do Uso do Solo Agrícola atendendo à Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição Difusa", em organização no NAS/DHA/LNEC para 11 de Dezembro de 2008, LNEC.

## Teses e Programas de Investigação

### Programas de Investigação

LEITÃO, T.E., 2008 - Gestão Integrada e Sustentável da Qualidade das Águas Subterrâneas em Portugal. Contributos para um Bom estado em 2015. Programa apresentado para a candidatura à obtenção do título de Habilitado para o exercício de funções de coordenação de investigação científica do LNEC, 350 pp.

### Trabalho de fim de curso

PINHÃO, I. I. G., 2006 - Mobilidade do Ião Nitrato em Colunas de Solo Saturado. Trabalho de fim de curso da Licenciatura em Engenharia Agrícola da Universidade de Évora, sob a orientação do LNEC.