

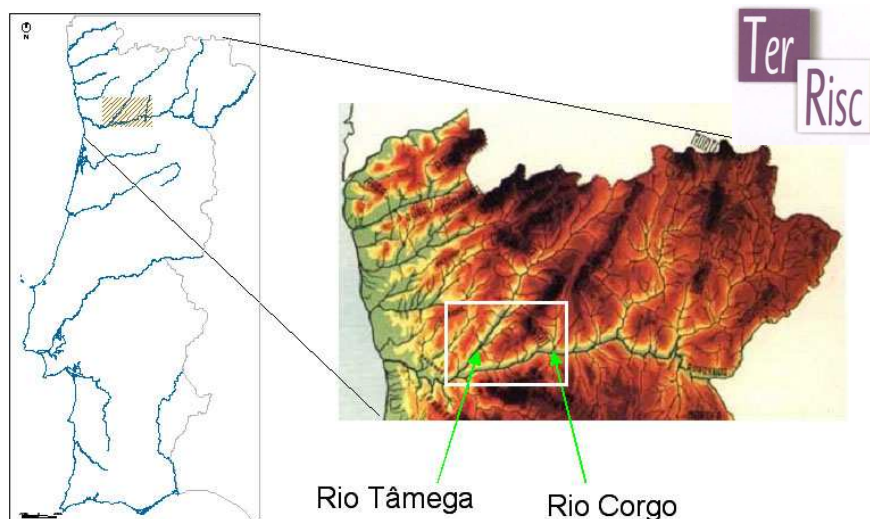
O COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE VERTENTES ORGANIZADAS EM TERRAÇOS AGRÍCOLAS NO VALE DO DOURO¹

C. Bateira - carlosbateira@netcabo.pt; A. Seixas - aseixas@letras.up.pt; S. Pereira - sus.pereira@oninet.pt;
C. Hermenegildo - carlos.hermenegildo@iol.pt; M. Cancela - miguel.cancela@gmail.com

1. Introdução

Este projecto pretende aprofundar o conhecimento relativo ao funcionamento hídrico das vertentes organizadas em patamares agrícolas, tornado-se ainda mais pertinente em áreas onde a ocupação humana é tão dependente da dinâmica do meio físico, como são as vertentes do vale do Douro, marcadas por uma história de séculos de agricultura em terraços.

Fig. 1 – Localização da área de estudo do Projecto Terrisc



O desenvolvimento deste trabalho pretende avaliar a influência das formações superficiais na instabilidade de vertentes, constituindo um contributo para o entendimento das condições de ocorrência de movimentos de vertente em patamares agrícolas.

2. Metodologia de estudo do comportamento hidrológico de vertentes

Com o recurso a duas áreas experimentais (Bacia Hidrográfica da Meia Léngua no Peso da Régua e Bacia Hidrográfica da Carriça em Baião) podemos fazer um estudo comparativo entre os processos ocorridos em terraços agrícolas desenvolvidos em áreas graníticas (Baião) e de substrato metassedimentar (Peso da Régua), avaliando o efeito “indirecto” da litologia sobre o comportamento hídrico de diversas formações superficiais, bem como a sua importância para a instabilidade de vertentes.

Nas áreas experimentais estão a ser monitorizadas um conjunto de variáveis hidrogeomorfológicas recorrendo à leitura dos processos de escoamento superficial e sub-superficial

¹ Esta comunicação tem como objectivo principal divulgar os resultados parcelares da investigação realizada no projecto de investigação designado “TERRISC - Recuperação de paisagens de terraços e prevenção de riscos naturais no vale do Douro (INTERREG III - B SUDOE)”.

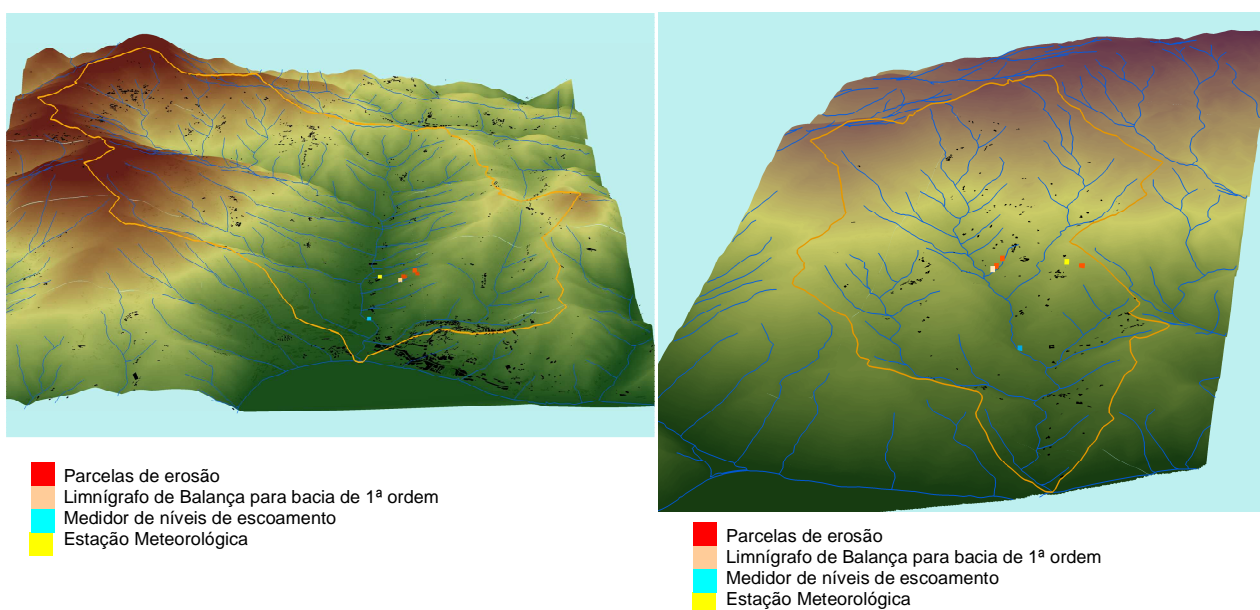
e das características morfo-estruturais das parcelas de erosão².

Para além da leitura de valores de escoamento caracterizadas as variáveis que afectam a capacidade de infiltração, condutividade hidráulica, resistência do solo, a textura e matéria orgânica das formações superficiais constituintes dos patamares agrícolas.

3. Leitura geomorfológica das Bacias Hidrográficas em estudo

As Bacias Hidrográficas da Ribeira da Meia Légua (Fig. 2) e da Ribeira da Carriça (Fig. 3) são ambas afluentes da margem direita do Rio Douro.

Fig. 2 – Bacia Hidrográfica da Meia Légua (P. da Régua) **Fig. 3** – Bacia Hidrográfica da Carriça (Baião)



Em seguida, apresentam-se sumariamente as suas características principais:

	Bacia Hidrográfica da Meia Légua	Bacia Hidrográfica da Carriça
Área	- 18,31 km ²	- 5,47 km ²
Forma	- Larga no sector N e estreita a S	- alongada
Altitudes	- Cota mínima: 48m e Cota Máxima: 670m - Predominam as classes de altitude entre os 100 e os 400 metros	- Cota mínima: 50m e Cota Máxima: 840m - Predominam as classes de altitude entre os 200 e os 500 metros
Declives	- Predominam os declives entre os 14º a 18º	- Predominam os declives entre os 10º e os 20º.
Exposições	- Predominam exposições a Este e Oeste	- Predominam exposições a Este e Sul
Litologia	- 97% da área da bacia é ocupada com xistos luzentes (filitos) - depósitos do Quaternário no fundo do vale	- granito porfiróide de grão grosseiro, de duas micas.
Formações superficiais	- depósitos de vertente	- os mantos de alteração do granito porfiróide atingem grandes espessuras

² Ver poster C. Bateira et. al - "Áreas experimentais de monitorização do funcionamento hidrodinâmico de vertentes organizadas em patamares agrícolas (TERRISC)", X Colóquio Ibérico de Geografia, Évora, 2005.

Morfologia	<ul style="list-style-type: none"> - parte N da B.H. :vertentes convexas - parte S da B.H.:vertentes côncavas - o fundo do vale é amplo e aplanado - os topos das vertentes são aplanadas - as vertentes são menos extensas nas áreas de maior declive (a Norte da B.H.) - a rede hidrográfica possui maior encaixe no sector noroeste da bacia. 	<ul style="list-style-type: none"> - vertentes complexas - as vertentes não são muito extensas e o relevo apresenta-se escalonado em vários patamares com pequenas rechãs - as áreas aplanadas são de reduzida dimensão - a rede hidrográfica está fortemente encaixada
Uso do solo	<ul style="list-style-type: none"> - 76,3% da área da B.H. corresponde a uso agrícola, dos quais 73,4% são de vinha - a área urbana ocupa 5,5% da área total 	<ul style="list-style-type: none"> - 48% da área da B.H. possui culturas agrícolas - 34 % tem áreas de floresta (principalmente pinheiro bravo e outras folhosas)

4. Caracterização das parcelas de erosão

Para esta apresentação seleccionámos três parcelas de erosão para as quais temos disponíveis dados de precipitação e escoamento para o mesmo período. No esquema que se segue são apresentadas as principais características de cada parcela de erosão:



PARCELA DE EROSÃO RÉGUA A (RA)	
Tipo	Parcela aberta
Campo Experimental	Peso da Régua – Quinta das Hidrângeas
Morfogia	montada junto à confluência de uma pequena linha de água de 1ª ordem, a meia vertente
Cota	164 metros
Declive	25º
Exposição	Noroeste
Litologia	Xistos luzentes
Ocupação do solo	Vinha
PARCELA DE EROSÃO TORMES B (TB)	
Tipo	Parcela Fechada
Campo Experimental	Baião – Quinta de Tormes
Morfogia	montada junto à confluência de duas pequenas linhas de água de 1ª ordem, a meia vertente
Cota	318 metros
Declive	19º
Exposição	Sudoeste
Litologia	Granito porfiróide de grão grosseiro
Ocupação do solo	Vinha



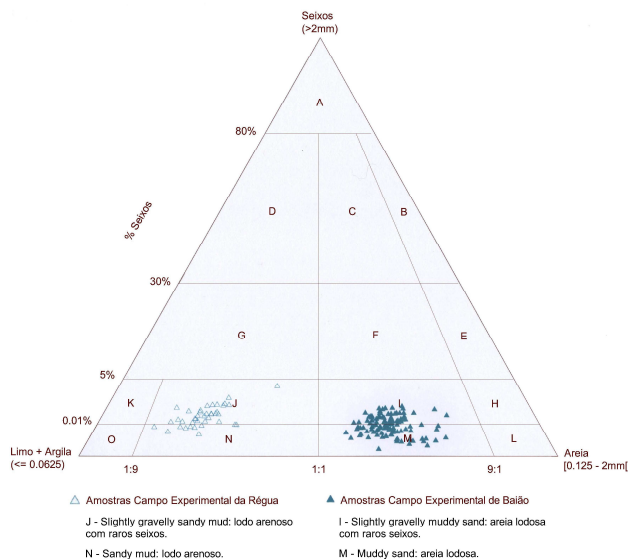
PARCELA DE EROSÃO CEDOFEITA D (CD)	
Tipo	Parcela Fechada
Campo Experimental	Baião – Quinta de Cedofeita
Morfogia	montada na confluência de uma pequena linha de água de 1ª ordem, próx. do topo da vertente
Cota	345 metros
Declive	19,8 ⁰⁰
Exposição	Sudeste
Litologia	Granito porfiróide de grão grosseiro
Ocupação do solo	Culturas anuais e vinha

4.1 – Textura do solo

Em todas as parcelas de erosão foram caracterizadas as variáveis que afectam a capacidade de infiltração, circulação e armazenamento de água nos solos entre as quais a textura dos materiais constituintes dos terraços agrícolas, através da análise granulométrica das amostras recolhidas. Por norma, optou-se por proceder a uma recolha de solo de 10 em 10 centímetros (em média), variável conforme a resistência do solo à perfuração.

Procedeu-se à análise granulométrica e estatística das amostras e realizou-se uma classificação da textura dos campos experimentais, segundo os limites e terminologia proposta por FOLK (1954).

Fig. 4 – Classificação Textural dos Campos Experimentais, segundo os limites e metodologia proposta por Folk (1954)



A nível geral, constata-se que as amostras do campo experimental da Régua situam-se na área dos limos e argilas e as do campo experimental de Baião na área das areias (Fig. 4).

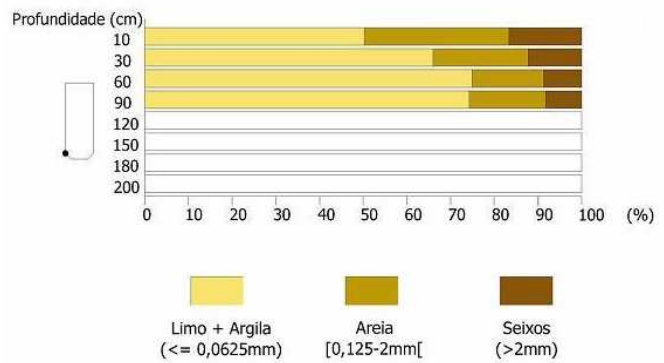
As amostras de solo do campo experimental da Régua correspondem principalmente a lodo arenoso com raros seixos, encontrando-se as restantes amostras, em número bastante inferior, na fracção correspondente a lodo arenoso.

As amostras de solo do campo experimental de Baião correspondem a areia lodosa com raros seixos e

areia lodosa respectivamente. Contudo, existe um maior número de amostras na fracção de areia lodosa.

Analisando a textura do solo por parcela, verifica-se que na RA (Fig. 5) predomina a percentagem de limos e argilas ao longo dos 90 cm em que as amostras foram recolhidas. Nesta parcela a fracção de limo e argila aumenta em função da profundidade (de 50% aos 10 cms até aos 75% aos 90 cms), enquanto que a percentagem de areia e seixos diminui com o aumento de profundidade.

Fig. 5 – Textura do solo na parcela RA



Nas parcelas CD (Fig. 7) e TB (Fig. 6) predomina a percentagem de areias até à profundidade máxima de recolha de amostras (2m), seguida em menor percentagem pelos limos e argilas. A percentagem de seixos, de uma forma geral não ultrapassa um máximo de 10% da amostra aos 10 cms que vai diminuindo progressivamente.

No entanto, a parcela TB possui uma maior percentagem de limos e argilas (em torno dos 30%), do que a parcela CD.

Fig. 6 – Textura do solo na parcela TB

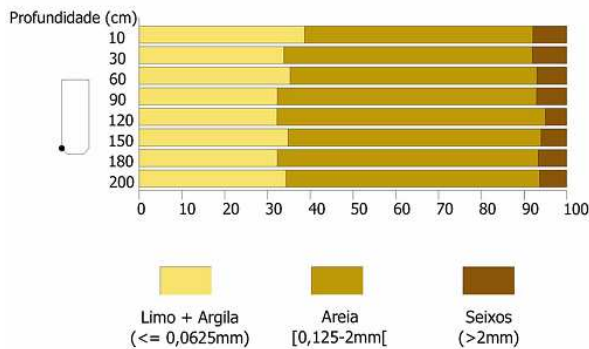
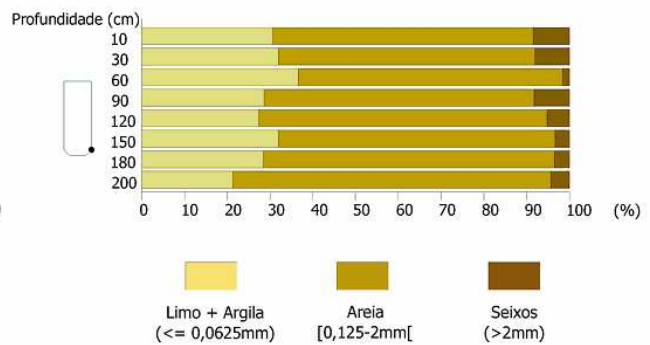


Fig. 7 – Textura do solo na parcela CD



4.2 – Resistência do solo

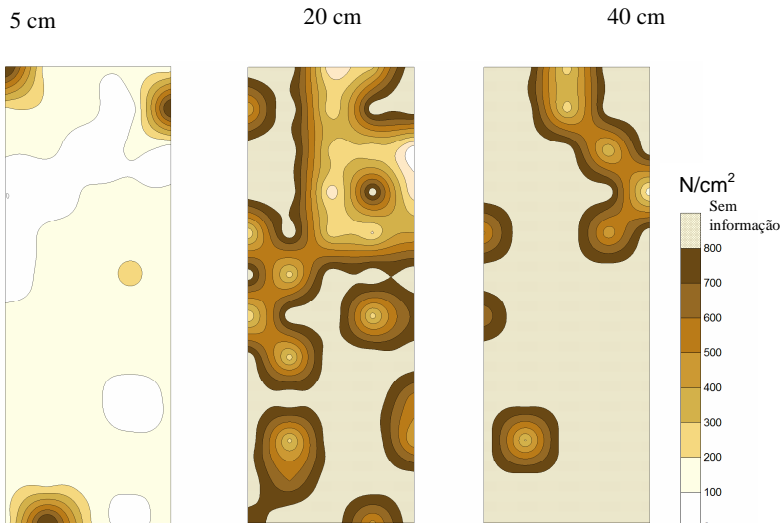
A resistência do solo à penetração fornece-nos indicações importantes sobre as características do solo que influenciam a capacidade de infiltração. Utilizando o penetrómetro de mão, a resistência do solo foi registada até um metro de profundidade.

Logo à partida constatámos que no campo experimental da Régua foi mais difícil realizar estes testes a profundidades superiores a 40 cm, uma vez que o solo possui materiais cujo grau

de compactação impede a continuação da realização dos testes. Em Baião, em alguns casos, obtivemos registros até 1 metro de profundidade em locais com um manto de alteração muito espesso.

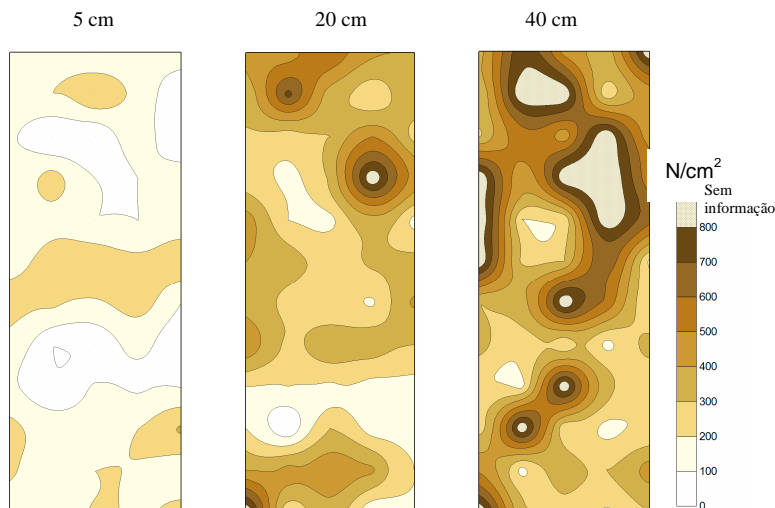
Na parcela RA (Fig. 8) à profundidade dos 5 cm, a maior parte da área da parcela apresenta uma resistência entre 100 e 200 N/cm², encontrando-se núcleos com maior resistência nos limites superior e inferior da parcela. Aos 20 cm, encontram-se vários pequenos

Fig. 8 – Mapa da resistência do solo à penetração aos 5, 20 e 40 cm na parcela RA



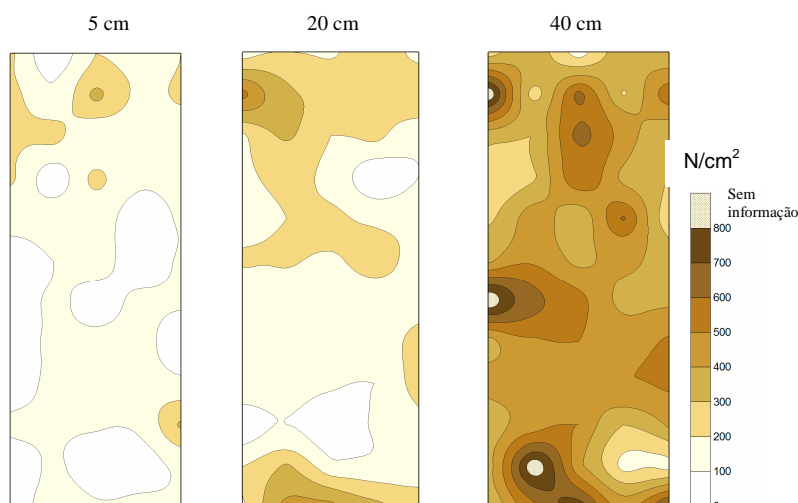
núcleos em que a resistência do solo aumenta rapidamente. Já se observa a existência de áreas com valores de resistência à penetração superiores a 800 N/cm², que aos 40 cm de profundidade ocupam a quase totalidade da parcela.

Fig. 9 – Mapa da resistência do solo à penetração aos 5, 20, 40 e 60 cm na parcela TB



Na parcela TB (Fig. 9), aos 5 cm de profundidade a resistência à penetração varia entre 0 e 300 N/cm², com núcleos dispersos pela parcela, verificando-se um aumento da resistência aos 20 cm. A esta profundidade observa-se no centro e na parte inferior da parcela a existência de uma faixa de menor resistência, facilitadora da circulação hídrica em profundidade. Aos 40 cm continuam a existir núcleos de menor resistência (mas com menor dimensão) e registam-se na parte superior da parcela os núcleos de maior resistência.

Fig. 10 – Mapa da resistência do solo à penetração aos 5, 20, 40 e 60 cm na parcela CD



superior a $300 N/cm^2$, verificando-se que os núcleos de maior resistência se situam preferencialmente na parte lateral esquerda, havendo apenas pequenos núcleos com resistência superior a $800 N/cm^2$.

Para obter uma outra visão da resistência do solo nas parcelas foram realizados 3 cortes transversais e um corte longitudinal. O corte 1 corresponde ao sector mais próximo da área de convergência da parcela, o corte 2 ao sector intermédio, o corte 3 ao sector mais a montante da parcela e o 4 a um corte longitudinal que atravessa a parcela a meio.

Na parcela RA (Fig.11) verifica-se que a resistência do solo diminui de montante para jusante, enquanto que a profundidade a que encontramos maiores resistências aumenta no mesmo sentido. No corte 1 a menor resistência encontra-se no centro da parcela, enquanto que nos restantes cortes os níveis de resistência são mais homogéneos.

O perfil longitudinal da resistência vem confirmar estas conclusões, fornecendo-nos uma visão mais pormenorizada da evolução da resistência. Do ponto 11 ao 5 a resistência do solo à penetração é muito homogénea e o limite máximo ($800 N/cm^2$) é atingido a pouca profundidade. A partir do ponto 5 aumenta a profundidade do solo com menor resistência, até atingir os 60 cm no ponto 0. Este perfil mostra que existem condições de resistência no solo que dificultam a infiltração.

A parcela TB (Fig.12), na sua generalidade, apresenta menor resistência à penetração. Nos cortes transversais, o corte 3 apresenta pouca resistência à penetração, principalmente no lado direito, onde o limite máximo de resistência do solo não é atingido à profundidade de um metro (alcance máximo do penetrómetro).

Fig. 11 – Perfis da resistência do solo na parcela RA

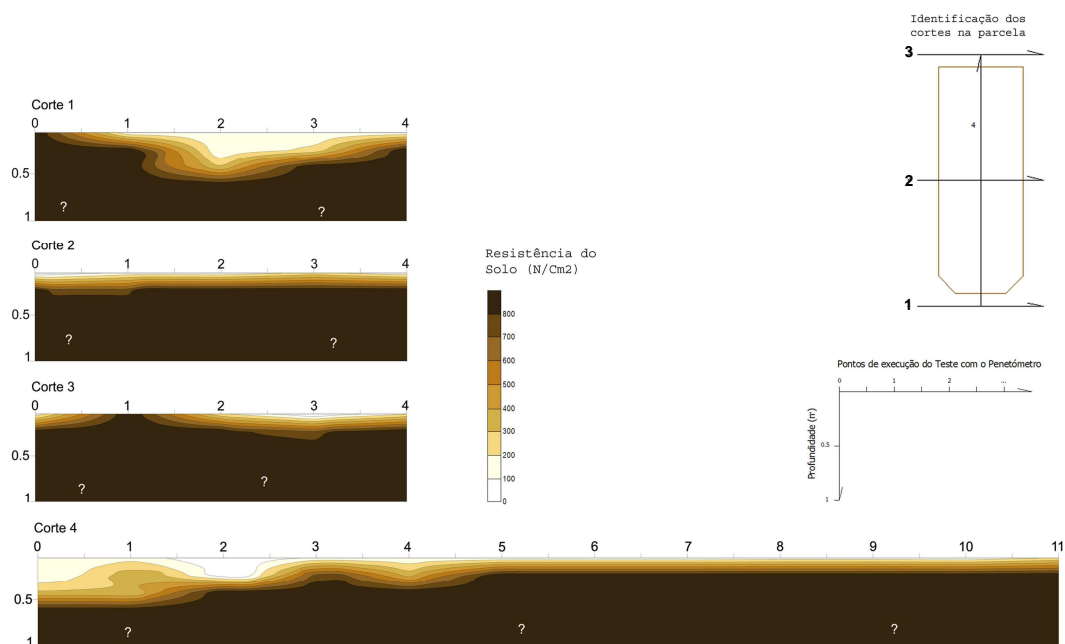
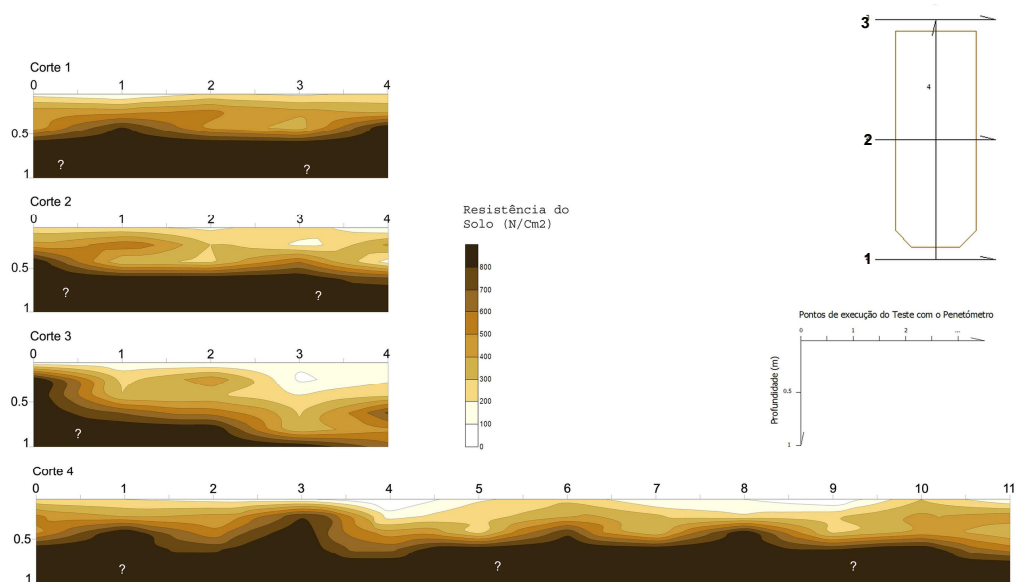


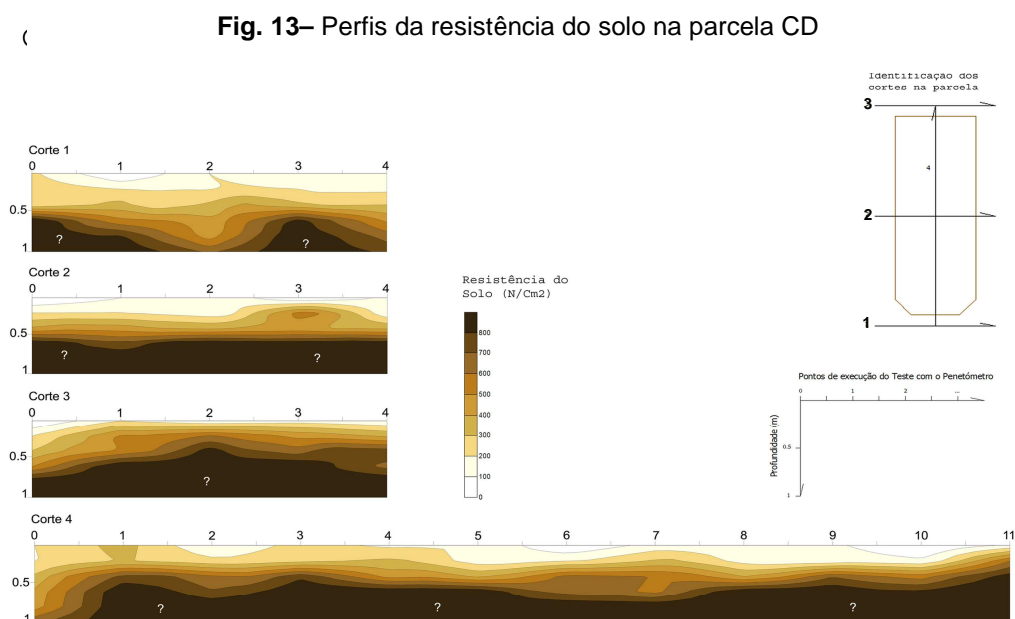
Fig. 12– Perfis da resistência do solo na parcela TB



A resistência do solo aumenta de montante para jusante. O perfil longitudinal apresenta algumas ondulações no que diz respeito ao aumento da resistência em profundidade, indicando que a parcela possui uma área com grande capacidade de infiltração ao longo do perfil.

Na parcela CD (Fig.13), nos perfis transversais, a resistência do solo vai diminuindo de montante para jusante e também se constata um aumento da resistência nas partes laterais da parcela (principalmente no lado esquerdo). Pelo contrário, no centro da parcela, a resistência vai diminuindo à medida que se aproxima a área de convergência da parcela.

O perfil longitudinal apresenta ligeiras ondulações, no que diz respeito ao aumento da resistência em profundidade, com uma redução brusca da resistência a partir do ponto 1 para o ponto 0.



4.3 – Testes de permeabilidade do solo

No sentido de fazer a leitura sobre as condições de circulação de água no solo procedeu-se à medição da condutividade hidráulica, medida nas camadas superficiais dos solo, através do permeâmetro de Guelph.

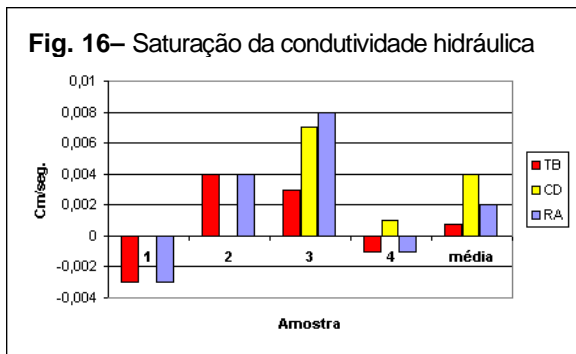
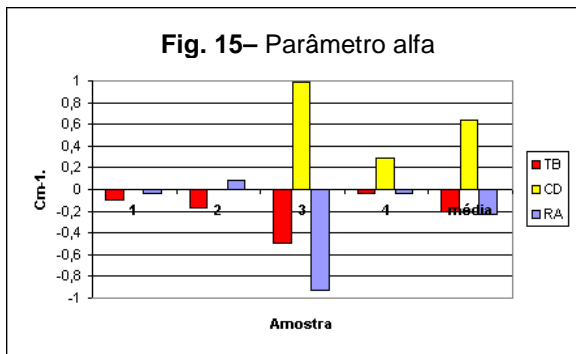
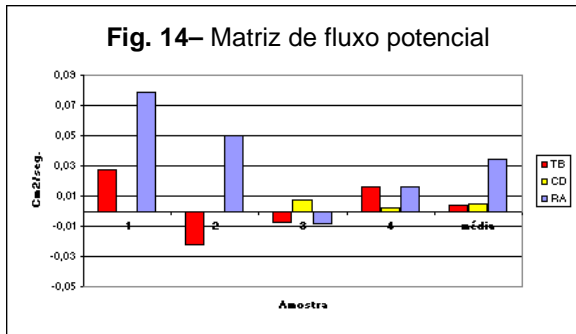
O registo dos valores de permeabilidade do solo aquando do trabalho de campo seguiram uma metodologia previamente definida pelos procedimentos de utilização do aparelho. Realizamos 4 experiências por parcela de erosão, uma em cada extremidade, utilizando um intervalo de 2 minutos entre leituras.

Em seguida, determinarmos os valores respeitantes aos parâmetros que indicam velocidades de circulação interna da água: matriz do fluxo potencial³, parâmetro alfa⁴ e saturação da condutividade hidráulica⁵.

Por vezes, ocorrem resultados negativos no cálculo da Matriz do fluxo potencial relacionados com o facto do solo apresentar descontinuidades hidrológicas na sua estrutura, estratificação em camadas ou canais que alteram a circulação de água.

Nas parcelas em análise, a parcela de erosão RA apresenta o maior valor médio de matriz de fluxo potencial (0,03 cm²/seg), um valor médio negativo do parâmetro alfa e um valor médio de 0,002cm/seg na saturação da condutividade hidráulica. Estes valores indicam que esta parcela possui os valores mais elevados de capacidade de absorção de água no solo por efeito de capilaridade, enquanto que a velocidade de circulação de água no solo é negativa, em resultado da textura fina do solo.

A parcela TB tem uma matriz de fluxo potencial muito baixa, um valor negativo do parâmetro alfa e um baixo valor da saturação da condutividade hidráulica, o que indica uma reduzida capacidade de absorção, uma reduzida velocidade de circulação de água no solo, evidenciando uma distorção no tipo de circulação.



³ A Matriz do fluxo potencial é um indicador da capacidade de absorção de água no solo por efeito de capilaridade representada na forma de área /unidade de tempo (cm²/seg).

⁴ O Parâmetro Alfa é uma constante que está dependente da porosidade do solo. Os valores são expressos em cm e quanto mais elevados forem maior será a velocidade de circulação da água no interior do solo.

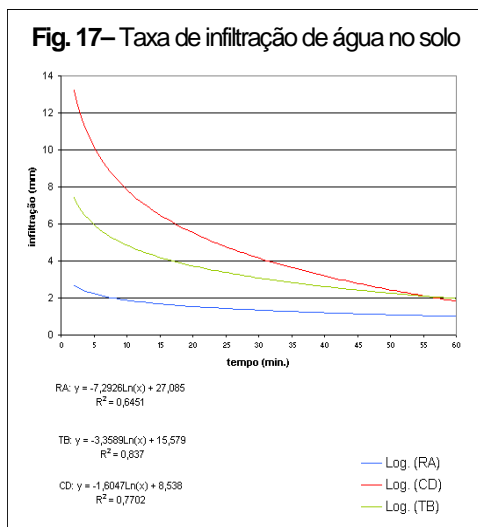
⁵ A condutividade hidráulica é um indicador da capacidade do solo de conduzir água no seu interior dentro de um determinado gradiente. A saturação de condutividade hidráulica refere-se à condutividade hidráulica saturada do solo que contém ar no seu interior. Os valores são expressos em cm/s e o valor obtido corresponde à velocidade média constante percorrida pela água por unidade de tempo nessa determinada secção do solo por troca com o ar presente entre as partículas.

A parcela CD, tal como a RA possui uma reduzida matriz do fluxo potencial, no entanto tem os valores médios mais elevados relacionados com o parâmetro alfa e a saturação da condutividade hidráulica. Estes valores indicam que há uma reduzida capacidade de absorção de água no solo, uma elevada circulação de água no interior do solo e uma elevada capacidade do solo conduzir água no seu interior (boa circulação hídrica interna).

4.3 – Capacidade de infiltração

A capacidade de infiltração de água na superfície do solo foi medida através do Infiltrómetro de duplo anel e tem como objectivo determinar a taxa de infiltração de água no solo em mm/min. Nestas medições a taxa de infiltração é influenciada pela cobertura vegetal, textura e estrutura do solo.

Aos valores das taxas de infiltração (Fig.17) procedeu-se ao ajustamento de uma curva segundo a função x log normal, que apresentou o melhor ajustamento de valores. A parcela RA



apresenta a mais baixa taxa de infiltração de água no solo, que começa nos 2,4mm/min e apresenta uma pequena tendência de redução com o aumento do tempo, terminando nos 1,5 mm/min. A parcela CD tem valores de uma forte infiltração inicial (13mm/min) com tendência para decrescer até valores finais um pouco abaixo dos 2mm/min. A parcela TB apresenta o mesmo comportamento geral da parcela CD, mas com valores da taxa de infiltração mais baixos no início (7,7mm/min) que terminam nos 2mm/min depois de uma hora de teste.

5. Leitura de dados

Num ano hídrico extremamente seco como o de 2004/2005, não dispomos de muitos dados relativos a diferentes períodos de precipitação e escoamento daí resultante. Face a estas limitações, apresentamos algumas leituras de dados referentes aos períodos de precipitação do dia 22 e 23 de Fevereiro, para os quais dispomos de dados de precipitação e escoamento em ambos os campos experimentais, o que nos permite efectuar algumas comparações. Os registos de precipitação e escoamento são de 10 minutos, o que nos permite uma análise mais pormenorizada.

Através da análise das Fig. 18, 19, 20 e 21, constatámos que os episódios chuvosos são mais importantes em Baião do que na Régua⁶. Os episódios chuvosos são muito curtos, durando apenas algumas horas, e no máximo atingem 2,5 mm em 10 minutos, em Baião no dia 22 de Fevereiro. Devemos salientar que os dados relativos ao escoamento são registados após uma sequência de um longo período seco, contudo verifica-se uma resposta quase imediata ao episódio chuvoso em todas as parcelas.

Em Baião, as parcelas têm uma resposta do escoamento mais rápida do que na Régua, o que contraria os dados obtidos nas medições da resistência do solo e da infiltração que nos indicam que as parcelas de Baião possuem melhores condições de infiltração.

Essa resposta pode ser justificada pela lavra dos solos. Na data dos episódios chuvosos, as parcelas RA e TB tinham sido lavradas há poucos dias, o que altera a estrutura do solo e facilita a infiltração da água e reduz significativamente a escorrência. A parcela CD como não foi lavrada neste período, possuindo assim um solo mais compactado, que facilitou a escorrência.

A resposta das parcelas ao período chuvoso também pode ser influenciada pela localização das parcelas na vertente. A parcela CD está instalada próximo do topo da vertente, numa área de convexa, responsável pela divergência do escoamento.

A parcela TB, pelo contrário, localiza-se a meio de uma vertente convexa com um manto de alteração espesso com tendência para a divergir o escoamento, onde predominam os processos de circulação interna

A interpretação dos dados relativos ao escoamento deve ser feita com alguns cuidados. Por vezes, quando estamos a trabalhar com episódios chuvosos de curta duração, corremos o risco de trabalhar com dados resultantes da acumulação de precipitação dos episódios chuvosos anteriores, uma vez que, por vezes, os baldes do limnígrafo de balança não chegam a encher e acabam por só serem contabilizados no início do episódio chuvoso seguinte.

Esse é um dos motivos para não se analisar registos isolados de escoamento, uma vez que os períodos chuvosos são pequenos.

Infelizmente, o Projecto ainda não dispõe de condições para medir a circulação interna, o que seria um dado interessante para analisar juntamente com os registos de precipitação e escoamento superficial.

⁶ Em Baião o episódio de precipitação do dia 22/02/2005 registou um total de 41,84mm e o do dia 23/02/2005 um total de 9,32mm. Na Régua o episódio de precipitação do dia 22/02/2005 registou um total de 18,44mm e o do dia 23/02/2005 um total de 11,57mm.

Fig. 18– Episódio de 22.02.2005 - Régua

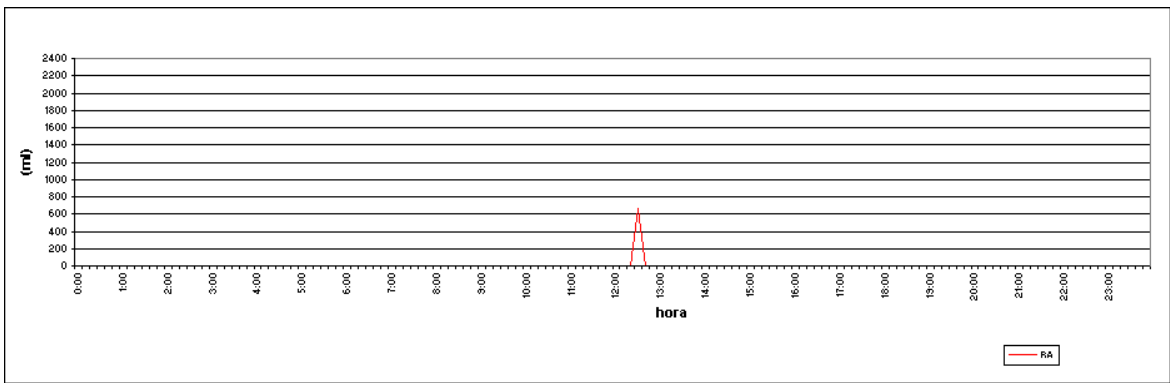
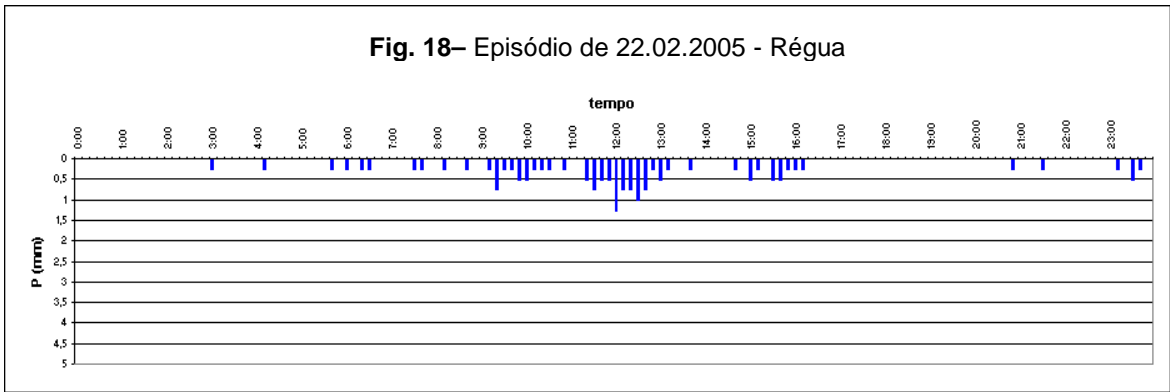


Fig. 19 – Episódio de 22.02.2005 - Baião

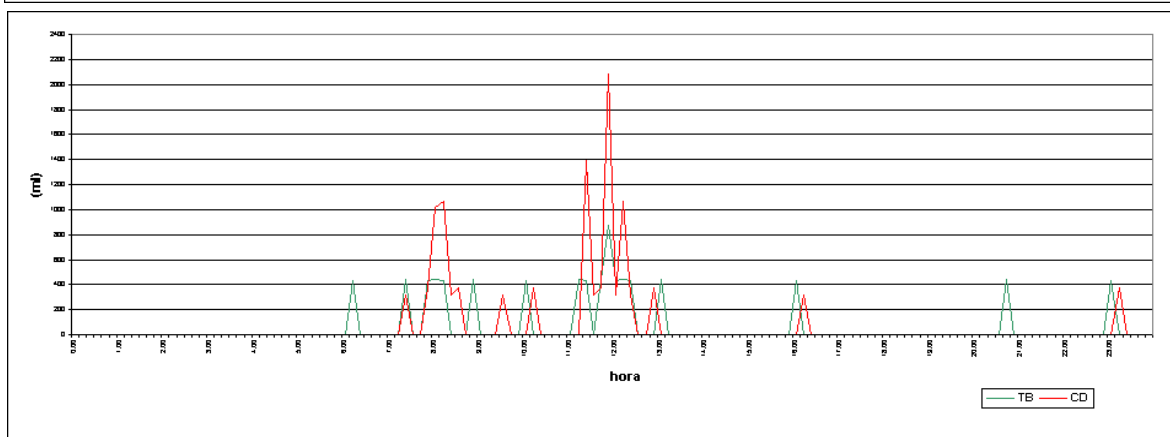
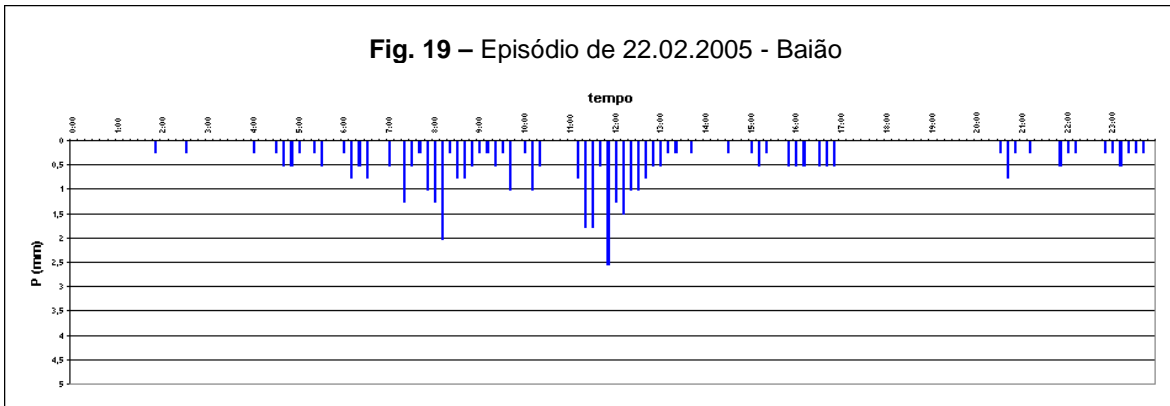


Fig. 20– Episódio de 23.02.2005 - Régua

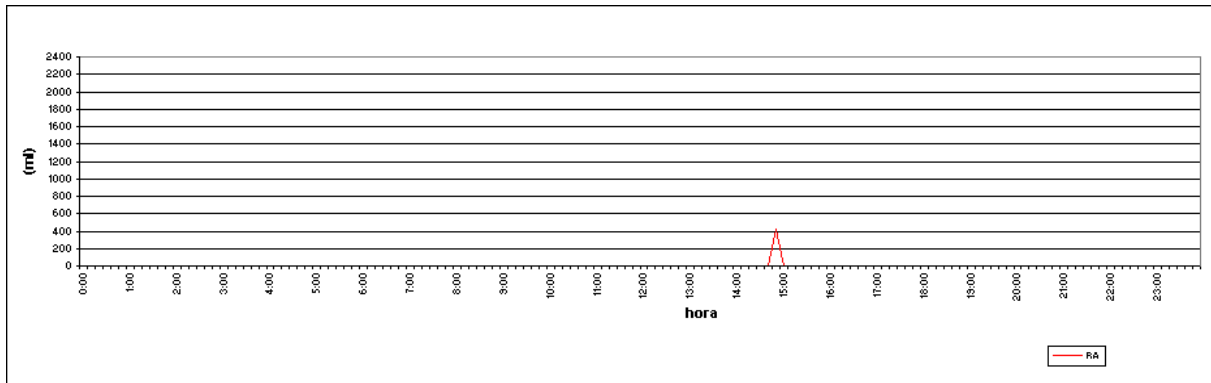
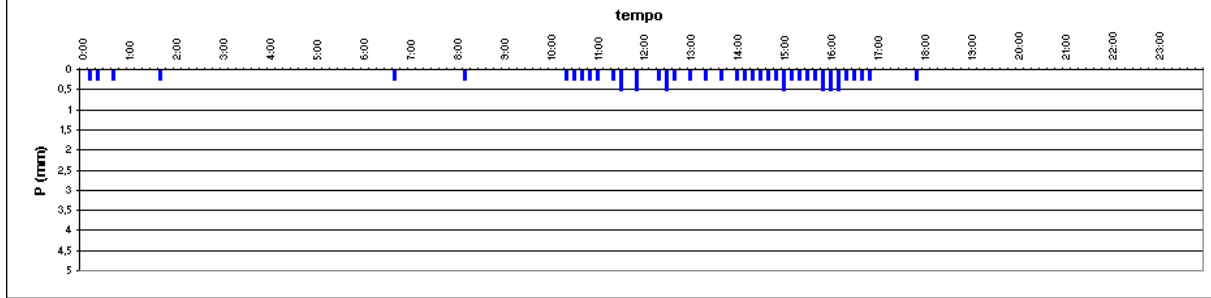
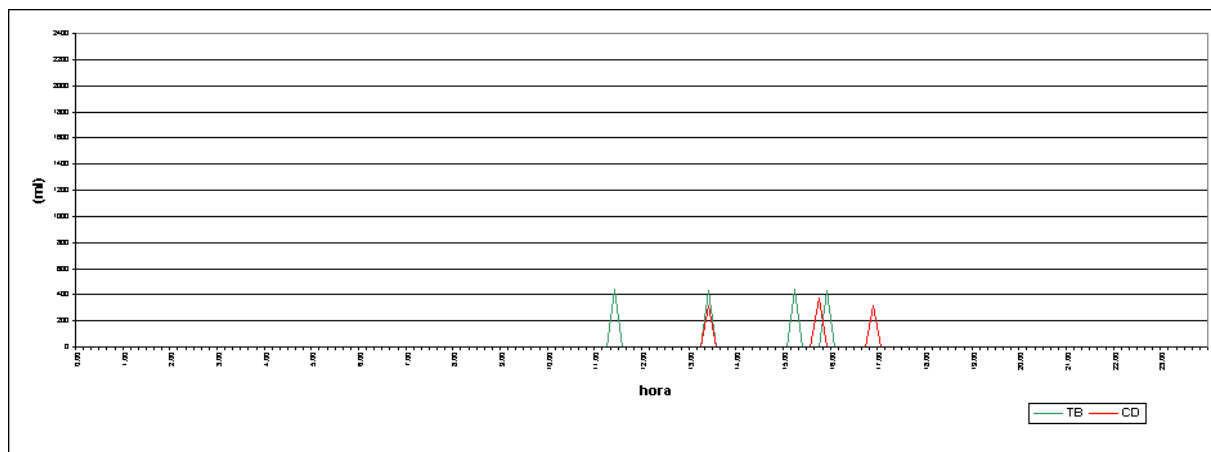
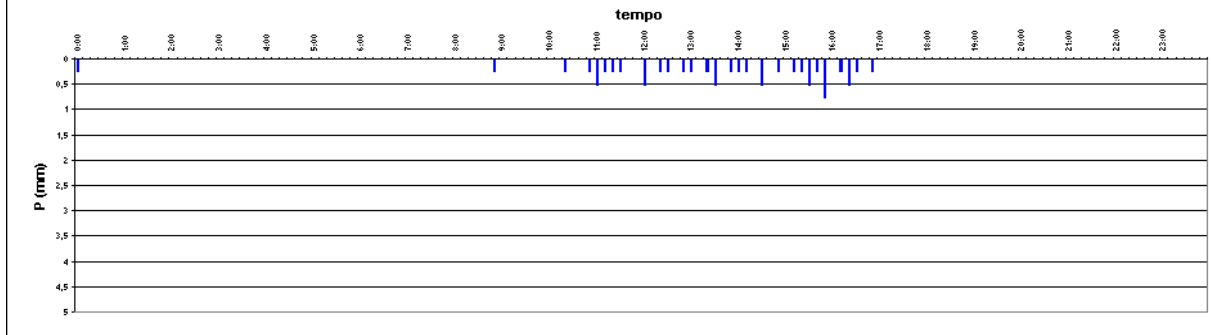


Fig. 21– Episódio de 23.02.2005 - Baião



5. Conclusão

O estado actual dos conhecimentos sobre os movimentos de vertente exige a análise do funcionamento da circulação hídrica das vertentes, sobretudo quando há uma forte alteração da sua morfologia devido à construção dos patamares agrícolas.

Através da análise dos dados preliminares existentes sobre a precipitação e o escoamento conclui-se que as parcelas reagem quase de imediato a um período de precipitação, mesmo após longos períodos secos. Significa que o desencadeamento do escoamento superficial é mais fácil em todas as parcelas, mesmo em áreas de granitóides, contrariando a ideia de fácil infiltração em formações superficiais derivadas de granitóides.

Perante pequenos episódios chuvosos a capacidade de infiltração, em patamares agrícolas parece não ser relevante.

Outro factor que se deve ter em conta é a localização das parcelas de erosão.

Neste momento levanta-se a hipótese da circulação hídrica interna ser menos favorável em mantos de alteração pouco espessos permitindo a conversão do fluxo interno em fluxo superficial, promovendo o escoamento. Esta hipótese só é verificável com o registo de episódios chuvosos mais importantes, de preferência num ano hídrico húmido.

Por noutro lado, a lavra nos patamares agrícolas influencia os processos hidrológicos, justificando a maior infiltração na parcela da Régua, do que nas parcelas de Baião. Basta que durante um ano não se efectue a lavra nos patamares agrícolas para se promover o escoamento superficial. A lavra facilita a infiltração e a instabilidade de vertentes, mas a existência de práticas de drenagem dos solos diminui os seus possíveis efeitos. A influência do abandono agrícola na instabilidade de vertentes depende essencialmente do fim das práticas de drenagem.

Bibliografia

- (1997-2000) - "Processos erosivos no Norte de Portugal: Definição de áreas de risco" Projecto de investigação desenvolvido no âmbito do Departamento de Geografia da Faculdade de Letras, financiado pela FCT – PRAXIS XXI.
- "Viver e saber fazer" – Tecnologias tradicionais na Região do Douro", Museu do Douro.
- SILVÉRIO, M. A. (2000) – "*Erosão Hídrica em solos na Serra da Aboboreira*", Dissertação de Mestrado apresentada à F.L.U.P, 2000, 220 pp.