

**Universidade de Évora**

**Mestrado em Engenharia do Solo e da Água**

**CONTROLE DA EROSÃO E DA INFILTRAÇÃO EM  
SOLO MEDITERRÂNEO COM APLICAÇÃO DE  
POLIACRILAMIDA ANIÓNICA NA ÁGUA DE REGA**

**Maria Florbela Silvestre Melhorado**

**Évora  
1998**

**Universidade de Évora**

**Mestrado em Engenharia do Solo e da Água**

**CONTROLE DA EROSÃO E DA INFILTRAÇÃO EM  
SOLO MEDITERRÂNEO COM APLICAÇÃO DE  
POLIACRILAMIDA ANIÓNICA NA ÁGUA DE REGA**

Maria Florbela Silvestre Melhorado

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

92 188

Évora  
1998

## **Agradecimentos**

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do programa PAXIS XXI, à qual desde já agradeço.

Para a elaboração deste trabalho a colaboração e o apoio de várias pessoas foi indispensável. Desde já desejo, agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente, para tal contribuíram.

Não posso no entanto, deixar de mencionar aqueles que mais directamente se relacionaram com o desenvolvimento e a realização deste trabalho.

Assim, desejo agradecer ao Professor Lúcio Santos, orientador deste estudo, o apoio, as sugestões, a revisão do trabalho e a disponibilidade que sempre manifestou ao longo do desenrolar deste trabalho.

Ao Professor Serralheiro, igualmente pelas sugestões e disponibilidade que sempre demonstrou.

Ao Sr. Junça, técnico do Laboratório de Hidrologia, pelo apoio, sugestões no desenho e concepção de material técnico sem o qual o trabalho não teria tido lugar.

À colega Anabela Mariz, o meu especial agradecimento pelo seu empenho e boa disposição no duro trabalho de campo desenvolvido.

À Beatriz Castor, técnica do laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora, pelo apoio e ajuda na determinação de análises mecânicas e granulométricas assim, como outras actividades desenvolvidas em laboratório e pela amizade que sempre demonstrou.

Ao responsável do Laboratório Carlos Santos e ao técnico Custódio Alves pela cooperação e organização no trabalho de campo, boa disposição e pela árdua tarefa de transportar as soluções de poliacrilamida para o campo.

E finalmente ao Sr. Freixa pela amizade, boa disposição e auxílio no trabalho de campo, que muito contribuiu para este estudo.

## Resumo

A erosão e a baixa infiltração são problemas comuns nos solos Mediterrâneos do sul de Portugal. Estes solos são frequentemente solos argiluvitados caracterizados por um horizonte superficial de pequena espessura e fraca estrutura e um horizonte B “textural” de acumulação de argila, e conseqüentemente, de baixa permeabilidade. O controle da erosão e a possibilidade de aumentar a infiltração nestes solos são particularmente importantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas aí implantados, especialmente os de regadio, uma vez que para além de importantes degradações que se verificam na estrutura e produtividade desses solos ao longo do tempo devido às regas, podem também dar origem a problemas de eutrofização das linhas de água superficiais.

A aplicação de pequenas concentrações de poliacrilamida aniónica (PAM), de elevado peso molecular, tem sido recentemente utilizada, na água de rega para aumentar a estabilidade dos agregados do solo e permitir a rápida floculação das partículas em suspensão, diminuindo a erodibilidade do solo regado, e permitindo assim, o controle de erosão e o aumento de infiltração. Neste trabalho foi avaliada a eficácia de pequenas aplicações de PAM na água de rega, em concentrações próximas de 10 ppm (mg/l), no controle da erosão e no aumento da infiltração em sulcos rectilíneos declivosos, comuns à topografia do Alentejo. Idêntica aplicação foi testada em sulcos implantados em terraços de contorno aproximadamente segundo as curvas de nível, com o objectivo de verificar se a utilização de PAM seria ainda eficaz, mesmo quando aplicada num sistema de conservação do solo, como é o dos sulcos em contorno. A quantificação da perda de solo e do transporte de sedimentos ao longo dos sulcos foi realizada utilizando os cones de Imhoff, procedendo-se para tal à sua calibração para o solo em causa.

A aplicação de PAM ao longo de 5 regas nos sulcos de contorno permitiu uma redução de 85 a 95% da perda de solo e um aumento da taxa de infiltração de 13 a 53%. Nos sulcos rectilíneos declivosos a aplicação de PAM, ao longo de 3 regas, possibilitou uma redução de 96 a 99% da perda de solo e um aumento da taxa de infiltração de 58 a 79%.

Para além da análise da perda de solo na extremidade dos sulcos, o transporte de sedimentos que se verifica ao longo do sulco foi também objecto de análise. Esse transporte no interior do sulco provoca muitas vezes séria degradação e perda de produtividade na zona de cabeceira dos sulcos, que é negligenciada quando se quantifica a perda de solo apenas na extremidade dos sulcos. A análise do transporte de sedimentos ao longo dos sulcos foi realizada em sulcos de igual comprimento nos sulcos rectilíneos e declivosos e em sulcos diferentes comprimentos no bloco de terraços de contorno. Constatou-se que o transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos de contorno foi reduzido de 30% na 2ª rega para 100% na 5ª rega e obtiveram-se reduções de 73% a 100% a meio do sulco. O comprimento não teve influência no transporte de sedimentos ao longo do sulco ou na perda de solo. Nos sulcos rectilíneos e declivosos o decréscimo do transporte de sedimentos à cabeceira dos sulcos foi de 87 a 100% com a aplicação de PAM.

A degradação do solo pelo processo erosivo da água de rega foi também estudado no bloco de contorno através da análise da alteração selectiva da textura do solo e da forma dos sulcos ao longo do seu comprimento. Nos sulcos tratados com PAM verificou-se comparativamente aos sulcos controle, regados sem a adição de poliacrilamida na água, um aumento médio da percentagem de limo e argila de respectivamente 46% e 42%, e uma diminuição média da percentagem de areia de 16% ao longo do comprimento do sulco. A textura manteve-se franco-arenosa ao longo do sulco, com a excepção da extremidade dos sulcos, onde se verificou uma alteração da textura franco-arenosa para franco-argilo-arenosa. Nos sulcos controle, apesar do decréscimo médio da percentagem de limo e argila e do aumento da percentagem de areia, comparativamente aos sulcos tratados, a textura manteve-se franco-arenosa, com a excepção da zona de cabeceira, onde a textura se alterou de franco-arenoso para arenoso-franco.

Quanto à forma dos sulcos verificou-se que nos sulcos tratados com PAM a forma do perfil é geralmente mantida próxima da original e nos sulcos controle a forma é degradada rapidamente, com a escavação dos sulcos devido à elevada erosividade da água.

A aplicação de pequenas concentrações de PAM (10 ppm) na água de rega em solos Mediterrâneos com sulcos declivosos e em terraços de contorno foi eficaz no controle da erosão e no aumento da infiltração. A aplicação deste condicionador na água

de rega é possível a custos relativamente baixos e é de fácil utilização. É um sistema recomendável na rega por sulcos em terreno de declive acentuado, onde nenhuma medida de conservação do solo seja utilizada. E, como se viu neste trabalho, mesmo quando sistemas de conservação do solo, como os terraços de contorno são utilizados a aplicação de PAM permite reduções importantes na perda de solo e aumentos consideráveis da taxa de infiltração.

Palavras chave: Controle da erosão, infiltração, solo Mediterrâneo, poliacrilamida aniônica, PAM, transporte de sedimentos, degradação do solo, textura, perfil dos sulcos.

## **Abstract**

Erosion and low infiltration are common problems in Mediterranean soils in the south of Portugal and in particular in agricultural irrigated soils. These soils are generally, soils with a surface layer of small thickness and poor structure. And the subsurface layer presents an accumulation of clay, giving to this layer very low permeability. The control of erosion and the possibility of increasing infiltration in these soils, are of particular importance for the sustainability of these agricultural systems, since, besides the important degradation that happens in these soils structure and productivity with time, there is also the pollution and eutrofization of surface waters.

The application in the irrigation water of small amounts of anionic polyacrylamide (PAM), with high molecular weight, have been recently used in irrigation to increase aggregate stability and allow a fast flocculation of the soil material in suspension, decreasing the irrigated soil erodibility, and that way, allowing the control of erosion and increase of infiltration. In this work, we have done the valuation of the control in erosion and the increase in infiltration provided by the application of PAM in the irrigation water in a concentration of 10 ppm (mg/l). The application was made in traditional furrows, with a high slope, common in Alentejo and in contour furrows. In contour furrows the application of PAM had the intention of testing, if PAM would be efficient in a system of soil conservation, like the contour furrows. The quantification of soil loss and transport of sediments along the furrow was provided by the use of Imhoff cones and its calibration to Mediterranean soil.

The total amount of PAM in contour furrows allowed a reduction of 85 to 95% in the soil loss and an increase of 13 to 53% in the infiltration rate. On the traditional furrows the application of PAM, allowed a reduction of 96 to 99% in the soil loss and an increase of 58 to 79% in the infiltration rate. As the hypothesis placed by us, the control provided by PAM in the contour furrows was lower than the control obtained in traditional furrows.

In this study the investigation took place not only in soil loss, but also in the transport of sediments along the furrow. The interest of the transport of sediments along the furrow is due to the frequent degradation and loss of productivity in the initial portion

of the furrow, which is neglected when the valuation of erosion is only in the furrow end. The efficacy of PAM application was also analysed in the transport of sediment along furrows with different lengths, in the contour furrows. In this study results, we have seen that PAM application provides a reduction of sediment transport in the contour furrows of 30% in the 2<sup>nd</sup> irrigation to 100% in the 5<sup>th</sup> irrigation in the head of the furrows. In the middle section of the furrow the reduction varies from 73 to 100%. The length of the furrow doesn't seem to have any influence on the transport of sediments and on the soil loss. On traditional furrows the reduction of sediment transport in the furrow head varies from 87 to 100%.

The degradation of furrows due to the erosion process was studied, on the contour furrows by the analysis of soil texture along the furrow after the 5<sup>th</sup> irrigation. In the treated furrows, high increases of silt and clay, of 46% and 42% respectively, and a loss of 16% of sand was observed. The texture in the treated furrows changes in the end of the furrows, from loamy-sand to loam-clay-sand. And in control furrows the initial section of the furrow was altered from loamy-sand to sand loam. In the shape of the furrow profile we have seen that in treated furrows the profile doesn't change much from the original form. Control furrows were generally deeper in the 5<sup>th</sup> irrigation, due to the high erosivity.

Key words: Erosion control, infiltration, Mediterranean soil, anionic polyacrylamide, PAM, sediment transport, soil degradation, texture, furrow profile.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS</b>	<b>3</b>
1.1 Introdução	3
1.2 Objectivos gerais do trabalho	6
1.3 Objectivos específicos	6
<b>2. SUSTENTABILIDADE E EROSÃO NA AGRICULTURA DE REGADIO</b>	<b>9</b>
2.1 A erosão nos sulcos	12
2.1.1 Erosividade	13
2.1.2 Erodibilidade	14
2.2 Distribuição da erosão, transporte e sedimentação ao longo dos sulcos	16
2.2.1 Alteração da textura, estrutura e forma ao longo dos sulcos	20
2.3 Quantificação da erosão	24
2.4 A infiltração na rega por sulco	28
2.4.1 Equações de infiltração	31
2.5 Práticas de conservação do solo	33
2.5.1 Os condicionadores artificiais do solo	35
2.5.1.1 As poliacrilamidas aniónicas	37
2.5.2 Controle da erosão e aumento da infiltração com a aplicação de PAM na rega por sulcos	38
2.5.2.1 Interações de adsorção nas ligações solo-polímero	44
2.5.2.2 influência da conformação e tamanho molecular das PAM no controle da erosão e infiltração	48
2.5.3 Considerações ambientais na aplicação de poliacrilamidas aniónicas	51
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>57</b>
3.1 Localização e caracterização do local de ensaios	57
3.1.1 Caracterização hidropedológica	57
3.2 Delineamento experimental e instalação do ensaio	59
3.2.1 Bloco de contorno	61

3.2.2 <i>Bloco tradicional com sulcos rectilíneos declivosos</i>	62
<b>3.3 Preparação e aplicação de PAM</b>	<b>63</b>
3.3.1 <i>Aplicação de PAM nos sulco de contorno</i>	65
3.3.2 <i>Aplicação de PAM nos sulcos rectilíneos declivosos</i>	66
<b>3.4 Determinação da erosão nos sulcos</b>	<b>66</b>
3.4.1 <i>Transporte de sedimentos ao longo dos sulcos</i>	70
3.4.2 <i>Calibração dos cones de Imhoff</i>	71
<b>3.5 Análise granulométrica e textural dos sedimentos</b>	<b>73</b>
<b>3.6 Infiltração nos sulcos de rega</b>	<b>73</b>
3.6.1 <i>Volume infiltrado e curvas de infiltração</i>	73
3.6.2 <i>Medição do caudal</i>	75
3.6.3 <i>Alteração da forma do perfil nos sulcos</i>	76
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>78</b>
<b>4.1 Erosão</b>	<b>78</b>
4.1.1 <i>Erosão nos sulcos de contorno</i>	79
4.1.1.1 <i>Influência do comprimento do sulco na erosão</i>	81
4.1.2 <i>Erosão nos sulcos declivosos e rectilíneos</i>	82
<b>4.2 Calibração dos cones de Imhoff</b>	<b>86</b>
<b>4.3 Transporte de sedimentos ao longo dos sulcos</b>	<b>90</b>
4.3.1 <i>Transporte de sedimentos nos sulcos de contorno</i>	91
4.3.2 <i>Transporte de sedimentos nos sulcos declivosos e rectilíneos</i>	95
<b>4.4 Alteração selectiva da textura do solo ao longo dos sulcos</b>	<b>97</b>
<b>4.5 Infiltração</b>	<b>100</b>
4.5.1 <i>Sulcos de contorno</i>	103
4.5.2 <i>Sulcos declivosos e rectilíneos</i>	107
<b>4.6 Alteração da forma do perfil dos sulcos ao longo das regas</b>	<b>109</b>
4.6.1 <i>Alteração da forma do perfil nos sulcos de contorno</i>	110
4.6.2 <i>Alteração da forma do perfil nos sulcos rectilíneos declivosos</i>	114
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>117</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## **Anexos**

Anexos A – Cálculo das taxas de aplicação de PAM	128
Anexo A <sub>1</sub> – Cálculo das taxas de aplicação de PAM nos sulcos de contorno com 220 m	129
Anexo A <sub>2</sub> - Cálculo das taxas de aplicação de PAM nos sulcos de contorno com 160 m	130
Anexo A <sub>3</sub> - Cálculo das taxas de aplicação de PAM nos sulcos de mobilização tradicional retilíneos de declive acentuado	131
Anexo A <sub>4</sub> – Quantidade total de PAM aplicada por hectare e por época em cada ensaio	132
Anexos B – Calibração dos cones de Imhoff	133
Anexo B <sub>1</sub> – Calibração dos cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos controle	134
Anexo B <sub>2</sub> – Calibração dos cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos tratados	135
Anexo B <sub>3</sub> – Calibração dos cones de Imhoff com as recolhas de sedimentos do campo, geral, só de sulcos controle e só de sulcos tratados	136
Anexo B <sub>4</sub> – Calibração dos cones de Imhoff apenas com recolhas de sedimentos do bloco de contorno	137
Anexo B <sub>5</sub> - Calibração dos cones de Imhoff apenas com recolhas do bloco de sulcos retilíneos declivosos	138
Anexo C – Perda de solo e transporte de sedimentos no ensaio	139
Anexo C <sub>1</sub> - Perda de solo e transporte de sedimentos verificados no bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas	140
Anexo C <sub>2</sub> – Análise de variância e teste Scheffé da perda de solo e transporte de sedimentos entre sulcos controle e tratados no bloco de contorno	141
Anexo C <sub>3</sub> – Análise de variância entre o movimento de sedimentos ao longo dos sulcos controle e tratados do bloco de contorno	142
Anexo C <sub>4</sub> - Perda de solo e transporte de sedimentos verificados no bloco de mobilização tradicional ao longo das regas monitorizadas	143

Anexo C <sub>5</sub> - Análise de variância da perda de solo e transporte de sedimentos entre sulcos controle e tratados no bloco de mobilização tradicional	144
Anexo C <sub>6</sub> - Análise de variância entre o movimento de sedimentos ao longo dos sulcos controle e tratados do bloco de mobilização tradicional	145
Anexo C <sub>7</sub> - Análise de variância entre o movimento de sedimentos ao longo dos sulcos controle e tratados no bloco dos sulcos retilíneos declivosos	146
Anexos D – Pormenores das regas monitorizadas no bloco de contorno e no bloco de mobilização tradicional	147
Anexo D <sub>1</sub> - REGA 1 – Bloco de contorno 220 m	148
Anexo D <sub>2</sub> - REGA 2 – Bloco de contorno 220 m	149
Anexo D <sub>3</sub> - REGA 3 – Bloco de contorno 220 m	150
Anexo D <sub>4</sub> - REGA 4 – Bloco de contorno 220 m	151
Anexo D <sub>5</sub> - REGA 5 – Bloco de contorno 220 m	152
Anexo D <sub>6</sub> - REGA 1 – Bloco de contorno 160 m	153
Anexo D <sub>7</sub> - REGA 2 – Bloco de contorno 160 m	154
Anexo D <sub>8</sub> - REGA 3 – Bloco de contorno 160 m	155
Anexo D <sub>9</sub> - REGA 4 – Bloco de contorno 160 m	156
Anexo D <sub>10</sub> - REGA 5 – Bloco de contorno 160 m	157
Anexo D <sub>11</sub> - REGA 1 – Bloco de mobilização tradicional 140 m	158
Anexo D <sub>12</sub> - REGA 2 – Bloco de mobilização tradicional 140 m	159
Anexo D <sub>13</sub> - REGA 3 – Bloco de mobilização tradicional 140 m	160
Anexo E – Infiltração	161
Anexo E <sub>1</sub> – Análise de variância da taxa de infiltração e infiltração acumulada no sulcos de contorno	162
Anexo E <sub>2</sub> – Análise de variância da taxa de infiltração e infiltração acumulada em sulcos de diferentes comprimentos no bloco de contorno	163
Anexo E <sub>3</sub> – Análise de variância da taxa de infiltração e infiltração acumulada dos sulcos de mobilização tradicional	164
Anexo E <sub>4</sub> – Análise de variância de taxa de infiltração e infiltração acumulada dos sulcos com mobilização tradicional utilizando os valores de cada recolha	165

## Lista de Figuras

Figura 2.1 - Variação teórica da erosão, transporte e deposição ao longo do sulco durante a rega	19
Figura 2.2 - Representação da substituição do grupo amida por um ião de sódio na estrutura do polímero	38
Figura 2.3 - Fórmula estrutural do monómero de acrilamida	51
Figura 2.4 – Reacção entre a AMD e um sal de acrílico para a produção de poliacrilamida	52
Figura 3.1 – Representação gráfica da área experimental na herdade do cabido (Divor)	60
Figura 3.2 – Representação esquemática da aplicação de PAM na água de rega	64
Figura 3.3 – Aplicação de PAM nos sulcos tratados do bloco de contorno	65
Figura 3.4 – Instrumentos de recolha das amostras de sedimentos e cones de Imhoff	67
Figura 3.5 – Curva de calibração dos canaletes	75
Figura 4.1 – Perda de solo nos sulcos tratados e sulcos controle do bloco de contorno ao longo de 5 regas	80
Figura 4.2 – Decréscimo da perda de solo nos sulcos tratados com PAM e nos testemunha (controle) do bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas	81

Figura 4.3 – Volume de sedimentos recolhido para os cones de Imhoff num sulco não tratado com PAM (controle)	83
Figura 4.4 – Volume de sedimentos recolhido para os cones de Imhoff num sulco tratado com PAM	84
Figura 4.5 – Perda de solo na extremidade dos sulcos tratados com PAM e nos controle no bloco de sulcos retilíneos declivosos	85
Figura 4.6 – Decréscimo da perda de solo nos sulcos tratados com PAM e nos testemunha (controle) em sulcos retilíneos declivosos ao longo do tempo	86
Figura 4.7 – Curva de calibração dos cones de Imhoff com as recolhas de sedimentos do campo	87
Figura 4.8 – Curva de calibração dos cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos tratados com PAM	88
Figura 4.9 – Curva de calibração dos cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos controle	88
Figura 4.10 – Calibração dos cones de Imhoff realizada através do método 224 C (Taras <i>et al.</i> , 1971)	89
Figura 4.11 – Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos tratados com PAM e nos sulcos controle do bloco de contorno ao longo das regas	91
Figura 4.12 –Aspecto da estrutura e agregação em sulcos tratados com PAM e em sulcos controle a 6 m da saída da água no bloco de contorno	92
Figura 4.13 – Decréscimo do transporte de sedimentos a 1/3 de sulcos tratados com PAM e sulcos controle no bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas	93

Figura 4.14 – Transporte de sedimentos observado a 2/3 do comprimento dos sulcos tratados com PAM e nos sulcos controle do bloco de contorno ao longo das Regas monitorizadas	94
Figura 4.15 – Decréscimo do transporte de sedimentos a 2/3 do comprimento dos sulcos tratados com PAM e nos sulcos controle no bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas	94
Figura 4.16 – Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos tratados com PAM e nos sulcos controle em sulcos rectilíneos declivosos ao longo das regas	96
Figura 4.17 – Decréscimo do transporte de sedimentos a 1/3 de sulcos tratados com PAM e sulcos controle em sulcos rectilíneos declivosos	96
Figura 4.18 – Representação das proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos controle no bloco de contorno	98
Figura 4.19 – Representação das proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos tratados com PAM no bloco de contorno	99
Figura 4.20 – Representação do arrastamento de sedimentos pela água de rega num sulco tratado com PAM	100
Figura 4.21 – Representação arrastamento de sedimentos pela água de rega num sulco controle	101
Figura 4.22 – Aspecto da estrutura e agregação num sulco tratado com PAM e a desagregação num sulco controle 12 horas após a 2ª rega a 6 m da saída de água	102
Figura 4.23 – Equações e curvas da taxa de infiltração média nos sulcos controle e tratados com PAM no bloco de contorno	104

Figura 4.24 – Infiltração acumulada média nos sulcos controle e tratados nas regas monitorizadas do bloco de contorno	105
Figura 4.25 – Taxa de infiltração e infiltração acumulada média nos sulcos controle e tratados nas regas monitorizadas do bloco tradicional	108
Figura 4.26 – Comparação da evolução do perfil ao longo de um sulco controle do bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas	111
Figura 4.27 – Comparação da evolução do perfil ao longo de um sulco tratado de contorno ao longo das regas monitorizadas	112
Figura 4.28 – Comparação da evolução do perfil de um sulco controle e num sulco tratado no bloco de sulcos rectilíneos declivosos	115

## Índice de Quadros

Quadro 3.1 – Caracterização do complexo de troca	58
Quadro 3.2 – Análise granulométrica e classificação textural	59
Quadro 3.3 – Densidade aparente do solo	59
Quadro 4.1 – Perda de solo na extremidade dos sulcos de contorno ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM	79
Quadro 4.2 – Perda de solo na extremidade dos sulcos retilíneos declivosos ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM	82
Quadro 4.3 – Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos de contorno ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM	90
Quadro 4.4 – Transporte de sedimentos a 2/3 nos sulcos de contorno ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM	93
Quadro 4.5 – Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos retilíneos declivosos ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM	95
Quadro 4.6 – Proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos controle no bloco de contorno	97
Quadro 4.7 – Proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos tratados com PAM no bloco de contorno	98
Quadro 4.8 – Taxa de infiltração, infiltração acumulada e respectivas variações médias ao longo das regas nos sulcos de contorno	103
Quadro 4.9 – Aumento percentual da taxa de infiltração, infiltração acumulada e respectivos valores médios nos sulcos retilíneos declivosos	107

## Lista de Símbolos

Símbolo	grandeza representada	dimensões
a	expoente da equação de infiltração de Kostiakov	$LT^{-1-k}$
A	área da secção transversal do escoamento	$L^2$
b	declive da recta de calibração	$ML^{-1}$
C	factor cultura na equação de Wischemeier	
$CT_{PAM}$	concentração de PAM desejada no tratamento da água de rega	$ML^{-3}$
$CAS_{PAM}$	concentração activa de PAM na solução de armazenamento	$ML^{-3}$
$D_{ap}$	densidade aparente	—
g	aceleração da gravidade	$LT^{-2}$
i	infiltrabilidade; taxa de infiltração	$L^2T^{-1}$
if	infiltrabilidade final	$L^2T^{-1}$
I	volume infiltrado por unidade de comprimento	$L^2$
$I_{PAM}$	infiltração num sulco tratado	$L^2T^{-1}$
$I_c$	infiltração num sulco controle	$L^2T^{-1}$
k	parâmetro empírico da equação de infiltração de Kostiakov	$L^2T^{-(1+a)}$
K	erodibilidade na equação de Wischemeier	$L^{-1}M$
L	comprimento do sulco	L
$L_a$	largura do sulco	L
$m^?$	massa do volume de solo	M
m	massa de um volume igual tomada como referência	M
$P_m$	perímetro molhado do sulco	L
PS	perda solo	M
$P_i$	intervalo de tempo entre cada recolha	T
$PS_A$	perda de solo	$L^{-1}M$
$PS_c$	perda de solo nos sulcos controle	LM
$PS_{PAM}$	perda de solo nos sulcos tratados	LM
$PS_D$	espessura de solo erodido	L
$PAM_{inj}$	taxa de aplicação de PAM nos sulcos	$MT^{-1}$
Q	caudal	$L^3T^{-1}$
$Q_e$	caudal de entrada	$L^3T^{-1}$

$Q_{si}$	caudal de saída	$L^3T^{-1}$
$Q_r$	caudal real	$L^3T^{-1}$
$Q_c$	caudal no canaleta	$L^3T^{-1}$
$R_0$	raio hidráulico da secção transversal do escoamento	L
RPS	redução da perda de solo em percentagem	—
S	perda de carga unitária	—
$S_{con_i}$	massa de sedimentos no escoamento	M
$S_{vol_i}$	Volume de sedimentos registado nos cones de Imhoff	
t	tempo	T
v	volume ocupado pela água	L
y	factor de conversão da perda de solo para espessura de solo	$ML^{-3}$

### Símbolos do Alfabeto Grego

Símbolo	grandeza representada	dimensões
$\tau$	tensão de arrastamento	$LMT^{-2}$
$\gamma$	peso específico da água	$L^{-2}MT^{-2}$
$\rho$	massa específica da água	$ML^{-3}$
$\tau_c$	tensão critica de arrastamento	$LMT^{-2}$

***Capítulo 1***  
***Introdução e Objectivos***

## 1. Introdução e Objectivos

### 1.1 Introdução

A erosão dos solos é um grave problema que é necessário controlar para se garantir a prática de uma agricultura sustentável, uma vez que em regra as taxas de perda de solo são sempre superiores à taxa de formação. As consequências inerentes à erosão são sentidos não só na degradação da qualidade e fertilidade dos solos, como também na degradação da qualidade da água dos sistemas receptores.

Devido ao clima, ao tipo de agricultura praticada e aos solos existentes a sul de Portugal, onde os Mediterrâneos são os mais representativos, a erosão e a baixa infiltração são um problema sempre inerente. Nestes solos o horizonte A, geralmente de espessura inferior a 20 cm e com reduzida percentagem de matéria orgânica, apresenta uma fraca estrutura e estabilidade dos agregados. O horizonte B, por sua vez, é um horizonte “textural”, com elevada percentagem de argila e de baixa permeabilidade. Num clima mediterrâneo como é o caso de Portugal, a utilização agrícola destes solos aumenta a sua fragilidade, uma vez que o solo encontra-se desprovido de coberto vegetal precisamente no período em que a precipitação ocorre, o que torna as explorações em agricultura de sequeiro particularmente vulneráveis à erosão pela acção da chuva.

Na agricultura de regadio, além da erosão pela acção da chuva, assistimos ao arrastamento e perda de sedimentos pela água de rega no período de Primavera-Verão. Este processo, para além do empobrecimento e degradação do solo, leva à contaminação das linhas de água quer pelo excesso de sedimentos quer pelos elementos químicos transportados ou adsorvidos nos sedimentos arrastados.

Apesar da potencial erodibilidade dos solos pela rega os elevados índices de produtividade possíveis de obter num clima mediterrâneo com as culturas de Primavera-Verão e, de uma forma geral, a competitividade do mercado, levam a que cada vez mais haja um aumento das áreas de regadio. Dos cerca de 1 135 250 ha de solo agrícola do País, 968 876 ha são áreas de regadio já existentes e previstas até 1999. No caso específico do Alentejo, a área agrícola ocupa cerca de 907 921 ha, dos quais 47 000 ha (iniciativa estatal) são ocupados pelos perímetros de rega (Serralheiro, 1997). Prevê-se que esta área de regadio aumente para 250 000 ha após

a construção da barragem do Alqueva e de outros projectos em elaboração, que se estima estarem totalmente concluídos em 2020 (Serralheiro *et al.*, 1997).

Os métodos de rega mais generalizados em Portugal e no mundo são os de superfície, uma vez que este método permite baixar consideravelmente os custos de produção face a um baixo investimento inicial. Estima-se que a rega de superfície seja aplicada em cerca de 240 milhões de ha, ou seja, 15-17% da área agrícola mundial (Hoffman *et al.*, 1990; Gleick, 1993, citados por Sojka e Lentz, 1996). Com este método de aplicação de água às culturas, logo que se inicia a rega as partículas do solo são mecanicamente desagregadas ou colapsam devido ao rápido humedecimento, e são arrastadas ao longo dos sulcos. As consequências visíveis são a alteração da estrutura do solo e a obturação dos poros por partículas de menor diâmetro, dando-se assim início à formação de uma fina crosta na superfície do solo, crosta essa que diminui a capacidade de infiltração e a produtividade do solo.

A modificação das condições da superfície e da taxa de infiltração do solo induzidas pelo processo erosivo podem, por seu turno, provocar a diminuição da eficiência de aplicação e de uniformidade de distribuição da água do sistema de rega, proporcionando aumentos na dotação bruta necessária para satisfazer as necessidades hídricas das culturas.

Quando a área regada apresenta um declive acentuado ( $> 0.5 \%$ ) este potencial erosivo da rega de superfície torna-se ainda mais dramático uma vez que exige do agricultor um controle muito adequado do caudal que tem necessariamente de ser muito baixo, para não se verificarem perdas de solo muito elevadas e manter a sustentabilidade do sistema. Daí decorre como consequência, tempos de avanço muito lentos, menores uniformidades de infiltração e a realização de regas muito prolongadas. Qualquer afastamento deste género de gestão da rega pode induzir a taxas de erosão muito acentuadas.

Sendo o Alentejo caracterizado como uma peneplanície, a suave ondulação topográfica impede normalmente a sistematização e modelação mecânica do terreno regado obrigando a que as parcelas de rega se adaptem à topografia do terreno para que a rega por sulcos seja realizada nas melhores condições possíveis. Quando a topografia e os custos o permitem, a regularização da superfície do solo é vantajosa não só para melhorar a uniformidade da rega, como também para diminuir a erosividade. A construção de terraços de nível é talvez um dos métodos mais eficaz no controle da erosão na rega de superfície, uma vez que a velocidade do escoamento, e

consequentemente, o destacamento e transporte de partículas, são diminuídos pelo decréscimo acentuado de declive conseguido pelo facto dos sulcos serem implantados em contorno. Contudo, é uma operação dispendiosa para a maioria dos agricultores e, em muitos casos desaconselhável devido à remoção da camada arável do solo, o que deixa o horizonte B à superfície, e leva a uma conseqüente diminuição da capacidade produtiva do solo.

Outras práticas de conservação para reduzir a erosividade da água, tais como mobilizações reduzidas, utilização de resíduos, faixas de vegetação entre outras, têm sido investigadas e desenvolvidas para a diminuição da erosão. Infelizmente, este tipo de práticas de conservação do solo não são frequentemente utilizadas pelos agricultores, o que normalmente se deve ao desconhecimento, muitas vezes ao seu elevado custo ou por exigirem esforços adicionais de tempo e mão de obra.

A diminuição da erodibilidade com o uso de condicionadores, mantendo-se a agregação, constitui outra possibilidade na conservação do solo. A utilização de condicionadores do solo para melhorar e/ou estabilizar a agregação e a estrutura do solo remonta aos anos 50. No entanto, as elevadas quantidades de aplicação usadas na altura e os métodos de aplicação utilizados para obter resultados satisfatórios inviabilizava a sua utilização na agricultura de regadio. Nos princípios dos anos 90 a utilização de pequenas quantidades de poliacrilamidas aniónicas (PAM) na água de rega mostrou-se particularmente eficaz na diminuição da erodibilidade dos solos. Aturada investigação realizada nos E.U.A, (Sojka e Lentz, 1996) permitiu praticamente anular o destacamento e o transporte de partículas nos sulcos, com aplicações de pequenas quantidades de PAM durante a fase de avanço da rega. A formação de crosta superficial nos sulcos foi também claramente reduzida, devido à rápida floculação das partículas o que permitiu também quantificar aumentos substanciais na taxa de infiltração dos solos regados com aplicação de PAM na água de rega (Lentz *et al.*, 1992; Trout *et al.*, 1995).

Uma das grandes vantagens da utilização deste tipo de condicionadores do solo, além dos já referidos, é o facto de terem um custo de aplicação acessível a qualquer agricultor, serem ambientalmente seguros e largamente utilizados como floculantes no tratamento de águas municipais, na indústria alimentar e cosméticos.

## ***1.2 Objectivos gerais do trabalho***

Este trabalho pretende ser um contributo para a investigação de mecanismos e técnicas de prevenção e controle da erosão induzida pela rega, visando também a possibilidade de aumentar a infiltração. Este estudo pretende verificar a eficácia da aplicação de poliacrilamidas como agente estabilizador do solo, no controle da erosão e transporte de sedimentos, quando aplicado na água de rega em parcelas de rega por sulcos rectilíneos abertos segundo o sentido do maior declive, como é comum no Alentejo, e a verificada em parcelas com sulcos abertos em terraços de contorno que constituem possivelmente, uma das formas mais eficazes no controle da erosão na agricultura de regadio, e tem vindo a ser testada na Universidade de Évora como alternativa para reduzir a erosão e aumentar a eficiência de aplicação da água.

## ***1.3 Objectivos específicos***

No presente trabalho pretende-se verificar e quantificar o controle da erosão e infiltração nos sulcos regados, proporcionado pela aplicação de pequenas concentrações de poliacrilamida aniónica (PAM), durante a fase de avanço das primeiras 3 a 5 regas. Especificamente, pretende-se verificar o controle na erosão e infiltração, proporcionado pela poliacrilamida, num sistema de rega, que permite uma boa uniformidade de aplicação de água como o cabo-rega, associado a sulcos abertos em terraços de contorno. Idêntica comparação entre sulcos controle e sulcos tratados é estabelecida para um sistema de rega tradicional com sulcos rectilíneos abertos segundo o maior declive. Em ambos os sistemas pretende-se quantificar o processo erosivo ao longo dos sulcos, tendo-se estabelecido para tal medições do transporte de sedimentos em três secções dos sulcos. Para essa quantificação do transporte de sedimentos e erosão nos sulcos são utilizados cones de Imhoff, após a sua calibração para o solo Mediterrâneo em causa.

O controle da infiltração foi realizado através da medição dos caudais de entrada e saída dos sulcos com canaletes medidores de Replogle (1982) e adaptados por Serralheiro (1988).

Como parâmetro qualitativo de medida da acção erosiva da rega e do potencial controle do PAM analisou-se a possível diferença de textura ao longo das três secções

consideradas, entre os sulcos controle e os sulcos de tratamento com PAM, bem como as possíveis diferenças na forma do perfil ao longo do comprimento total dos sulcos.

***Capítulo 2***  
***Sustentabilidade e erosão na agricultura de regadio***

## 2. Sustentabilidade e erosão na agricultura de regadio

A erosão acelerada é, para muitos países, a forma mais séria de degradação do solo. Tal como na extinção de espécies de plantas e animais, a perda de solo pode ser controlada mas não é um processo reversível.

A erosão induzida pela água quer das chuvas, quer provenientes de regas mal geridas, pode constituir uma séria ameaça à prática de uma agricultura sustentável uma vez que, como consequências imediatas, leva à degradação física do solo, à perda de sedimentos e ao arrastamento de pesticidas e fertilizantes associados. Essa dinâmica não só provoca a diminuição da fertilidade do solo e portanto, a diminuição da produção agrícola, como também pode ser a principal causa de poluição difusa e da eutrofização dos cursos de água.

Em relação à rega a diminuição de fertilidade verifica-se com a continuidade do processo erosivo induzido, o que leva à diminuição da espessura da camada superficial do solo, numa extensão que depende do declive, dos caudais e das práticas culturais.

As reduções de produção provocadas pela erosão induzida na rega, e nomeadamente da rega por sulcos, são permanentes e em norma, segundo Carter (1993), as camadas inferiores do solo não apresentam o mesmo nível de produtividade das camadas superiores perdidas e não existe tecnologia disponível para inverter esta situação.

A produtividade e erodibilidade do solo são propriedades intrinsecamente relacionadas com o tipo de solo, nomeadamente com o complexo de troca, com a textura e principalmente com o tipo de mineral de argila presente. Por sua vez, os minerais de argila presentes dependem da pedogénese e das condições topográficas do local. Nas zonas de clima tipicamente Mediterrâneo, como é o caso do Sul de Portugal, os minerais de argila formados são frequentemente do tipo 1:1. Este tipo de minerais de argila, não expansivos, limitam a troca de catiões no solo e a própria agregação, o que potencia substancialmente a erodibilidade do solo. As extensões ocupadas com agricultura de regadio em zonas de clima do tipo Mediterrâneo são assim, particularmente vulneráveis à erosão. É, no entanto, nas zonas de clima Mediterrâneo e nas zonas áridas e semi-áridas onde se encontram as maiores extensões de agricultura de regadio (Bucks *et al.*, 1990 citados por Sojka e Lentz,

1996). O que segundo, Ross e Lembi (1985), (citados por Sojka e Lentz, 1996), se deve essencialmente ao facto de se tratarem de zonas onde as taxas fotossintéticas são mais elevadas e onde as taxas de incidência de pragas e doenças são mais baixas comparativamente aos climas húmidos e sub-húmidos.

No Sul de Portugal, esta elevada vulnerabilidade dos solos à erosão é ainda acrescida pela reduzida espessura da camada superficial dos solos. O horizonte A, sujeito à erosão, não excede na maioria dos solos, os 25 cm de espessura, o que por sua vez, também facilita a rápida oxidação da matéria orgânica e conseqüentemente, a rarefração de um agente que proporciona estabilidade e agregação às partículas de solo. A camada inferior, ou horizonte B, apresenta na maior parte destes solos uma acumulação de argila, formada por iluviação, que a torna praticamente impermeável.

Para o uso sustentável do solo como recurso natural que é, a perda de solo não poderá em princípio, exceder um determinado valor de tolerância que não deverá ser superior à taxa de formação do solo. Infelizmente, decidir sobre um nível de tolerância que não exceda, em cada tipo de solo, a sua taxa de formação não é possível na prática, uma vez que essa formação é lenta e de difícil determinação. Uma aproximação alternativa, que evita a necessidade de medir directamente a taxa de formação do solo, é estimar em zonas onde se presume existir um equilíbrio a taxa de formação requerida para igualar a taxa de remoção de solo por erosão. A tolerância de perda de solo, é então, definida como a taxa máxima de perda de solo, para a qual o solo possa manter 20 a 25 anos de fertilidade (Wild, 1993; Morgan, 1995).

Segundo, Buol *et al.*, (1973), as taxas de formação do solo à escala mundial variam entre 0.01 a 7.7 mm/ano (Morgan, 1995). As taxas de formação mais elevadas são excepcionais, o valor médio é de cerca de 0.1 mm/ano (Zachar 1982, citado por Morgan, 1995). Bennett, (1939), Hall *et al.*, (1979), citados por Morgan (1995), sugeriram que em solos com textura moderadamente grosseira, a taxa anual de formação do horizonte A, pode exceder 11.2 t/ha. Isto, supondo que o subsolo pode melhorar se na mobilização, a camada superficial lhe for incorporada com fertilizantes e matéria orgânica. O valor de tolerância de 11 t/ha foi sugerido para solos com profundidade superior a 2 m, se o solo tiver boa permeabilidade, mas valores abaixo de 2 t/ha são os mais usuais, particularmente em áreas sensíveis onde os solos são pouco profundos e muito erodíveis (Wild, 1993; Morgan 1995). No entanto, segundo Moldenhauer e Onstad, (1975), (citados por Morgan, 1995), o limite de tolerância de perda de solo não deverá exceder 1 t/ha, e em algumas áreas de maior erodibilidade,

0.2 a 0.1 t/ha, para permitir a redução da poluição difusa proveniente da agricultura até níveis aceitáveis.

A preocupação com a degradação do recurso natural que é o solo não é recente, dado que o primeiro trabalho de investigação em conservação foi realizado em Munique por Ehwald Wollny em 1879, sobre as interações da vegetação com as propriedades do solo (Wollny, 1887-1889 citado por De Boodt, 1993). Nos E.U.A extensivas formas de erosão foram anunciadas, já no século passado, devido essencialmente à degradação da qualidade das águas superficiais e ao excedente de sedimentos originados pela rega. Em 1894, o Boletim nº20 Agricultores do Departamento de Agricultura dos E.U.A., discutia já extensivamente o fenómeno, assim como as formas e meios de reclamar estes solos. Em 1906, surgiu o boletim agrícola, Soil Conservation e em 1907 o Secretário da Agricultura dos E.U.A, declara que a erosão se tinha tornado tão devastante que cada ano cerca de 1 bilião de toneladas de sedimentos eram arrastados para o mar (Stallings, 1957 citado por De Boodt, 1993). Contudo, estas preocupações e estudos incidiam apenas na agricultura de sequeiro, onde a acção erosiva da água da chuva se fazia sentir.

Os primeiros estudos sobre erosão e conservação do solo em áreas regadas e nomeadamente sobre a erosão induzida na rega por sulcos foram desenvolvidos nos anos 30 (Aarstad e Miller, 1981). Mas é na década de 70 nos E.U.A, após a criação de legislação apropriada, sobre as descargas dos excedentes da rega, conhecida vulgarmente pela lei do poluidor/pagador, que se gerou um aumento generalizado de estudos sobre a erosão induzida pela rega e técnicas de conservação, que tinham como principal objectivo o controle da qualidade das águas superficiais e a diminuição do excesso de sedimentos escoados para rios e afluentes.

Estudos posteriores foram dedicados ao estudo da erosão e aos diversos factores que a condicionam, como o declive, o comprimento dos sulcos e o caudal, assim como, as suas consequências ao longo dos sulcos (Koluvek, *et al.*, 1993).

Actualmente, dos 15 milhões de hectares de terreno regado nos E.U.A, 21% são afectados pela erosão do solo (Koluvek *et al.*, 1993), onde as taxas variam de 5 a 50 t/ha/ano (Berg e Carter, 1980; Kemper *et al.*, 1985; Fornstrom e Borelli, 1984; Trout, 1996 citados por Sojka e Lentz, 1996). Constata-se ainda hoje, que em muitos dos campos, a média da taxa de erosão é próxima ou acima da taxa de erosão permitida (valor de tolerância de perda de solo) para uma produção sustentável.

Em Portugal, a erosão induzida pela água das chuvas é desde há muito alvo de investigação e estudos. Quanto à erosão induzida pela rega de superfície e em particular pela rega por sulcos, a investigação é escassa e os estudos que se têm realizado são pioneiros e muito recentes, apesar de observações casuais e dados empíricos indicarem que o problema existe, podendo mesmo constituir um grave entrave para a sustentabilidade da agricultura. Este trabalho é pioneiro e dá os primeiros passos na investigação para quantificar e controlar o fenómeno erosivo em rega de superfície.

## **2.1 A Erosão nos Sulcos**

A erosão do solo é um processo de duas fases que consistem no destacamento de partículas individuais da massa do solo e no seu transporte por agentes erosivos, como a água e o vento. Quando deixa de existir energia suficiente para o transporte, ocorre uma terceira fase - a deposição (Morgan, 1995). No processo de erosão induzida pela água, após o destacamento das partículas verifica-se o transporte, que ocorre sob a forma de escoamento concentrado e que acaba por dar origem à formação de pequenos canais que evoluem para sulcos e ravinas.

Na rega de superfície por sulcos, estes têm como objectivo funcionarem como superfícies infiltrantes de abastecimento de água à cultura. No entanto, funcionam muitas vezes como superfícies preferenciais de escoamento concentrado, tornando-os particularmente vulneráveis à acção erosiva da água. A erosão tem início desde a primeira rega com a entrada de água no sulco e continua desde de que o caudal tenha energia suficiente para provocar o destacamento e transporte das partículas de solo ao longo do sulco e a superfície do sulco possa ainda fornecer material transportável. A intensidade da erosão depende da quantidade de material fornecido pelo destacamento e da capacidade de transporte do agente erosivo em causa (Morgan, 1995). O destacamento e transporte de partículas são condicionados pela erosividade do escoamento e erodibilidade do solo.

### 2.1.1 Erosividade

A erosividade da acção da água da chuva traduz-se no impacto da velocidade de queda das gotas de água na superfície do solo e calcula-se através de índices de erosividade, baseados na energia cinética da chuva (Morgan, 1995). Na rega por sulcos a acção erosiva da água de rega não depende da energia cinética do impacto da água na superfície do solo, uma vez que a altura de saída da água difere apenas em alguns centímetros da superfície do solo. A erosividade no sulco verifica-se quando a água exerce um levantamento hidrodinâmico e forças de corte que promovem a desagregação, o destacamento e o transporte das partículas de solo (Morgan, 1995). A erosividade pode por vezes, ser acelerada com a alteração das condições iniciais, como o rápido humedecimento do sulco ou com a composição química da água de rega que podem provocar respectivamente, o colapso ou a dispersão dos agregados, que ficam então divididos em várias partículas de menores dimensões, facilitando o seu posterior destacamento e transporte ao longo do sulco.

A força de corte exercida pelo escoamento é tão variável em pequenos canais de terra, como são os sulcos de rega, tanto no tempo, como no espaço, que a sua quantificação em detalhe se torna praticamente impossível. Um dos factores que induz a essa elevada variabilidade é a distribuição das forças de corte ao longo do perímetro molhado, que pode variar com a forma do sulco e a rugosidade, mas geralmente é máxima no fundo do sulco e tende a decrescer para zero à superfície da água (Foster *et al.*, 1984 citados por Trout e Neibling, 1993). Nestas condições, a erosividade é geralmente estimada através da força média de atrito, que é avaliada pela tensão de arrastamento (Trout e Neibling, 1993). Segundo Dubois (1879) e Graft (1971), citados por Trout e Neibling (1993), a tensão de arrastamento provocada por um escoamento constante deve igualar a componente da força gravítica exercida sobre a água na direcção do escoamento, de onde resulta a seguinte equação:

$$\tau = \gamma AS/P_m = \gamma R_0 S \quad (2.1)$$

onde,  $\tau$  é a tensão de arrastamento ( $N/m^2$ );  $\gamma$  é o peso específico da água ( $9800 N/m^3$ );  $S$  é a perda de carga unitária, essencialmente igual ao valor do declive ( $m/m$ );  $A$  é a área da secção transversal ( $m^2$ );  $P_m$  é o perímetro molhado ( $m$ );  $R_0$  é o raio hidráulico,

$R_0=A/P_m$  (m). Outros parâmetros hidráulicos como a velocidade do escoamento podem ser utilizados para quantificar a erosividade do escoamento, de acordo com Trout e Neibling, (1993).

O destacamento e transporte de sedimentos alteram a forma geométrica dos sulcos, que passam a ter uma forma estável, descrita, segundo Trout, (1991), por uma parábola ou uma função potência. Depois das primeiras regas, e do sulco atingir uma forma estável, a erosão continua uniformemente ao longo do perímetro até ao ponto em que a tensão de arrastamento é inferior a um valor crítico de tensão de arrastamento ( $\tau_c$ ), para além do qual não ocorre erosão. O processo de decréscimo da taxa de erosão continua assintoticamente até à evolução do canal para uma forma rectangular quando  $\tau < \tau_c$  em todo o lado (Trout e Neibling, 1993). O decréscimo da erosividade com tempo verifica-se mesmo em condições de escoamento constante. Segundo, Israelson *et al.*, (1946), e Gardner e Lauritzen, (1946), (citados por Trout e Neibling, 1993) o transporte de sedimentos decresce exponencialmente com o tempo.

### **2.1.2 Erodibilidade**

A maior ou menor susceptibilidade dos solos à erosão, ou erodibilidade, depende essencialmente da coesão entre as partículas e da resistência que estas oferecem ao escoamento. Por sua vez, a maior ou menor coesão das partículas do solo depende da sua textura, em particular da sua percentagem de argila, da estabilidade dos agregados, do teor de matéria orgânica, da capacidade de infiltração e composição química (Trout e Neibling, 1993; Morgan, 1995).

Uma das formas de estimar a erodibilidade do solo, representada usualmente por K, é, segundo Wischemeier (citado por Morgan, 1995) através da textura, com base nas fracções de limo, argila e areia e utilizando como factores de correcção a percentagem de matéria orgânica, a pedregosidade, a estrutura e a permeabilidade do solo. Representando K a perda de solo em condições padronizadas, com 9% de declive e 22 m de comprimento de encosta, terreno e lavrado segundo o maior

declive. Contudo, com este modelo a influência da fracção de argila não é claramente perceptível. Dentro da escala de texturas de Atterberg, as partículas de maiores dimensões são as mais resistentes ao transporte e as mais pequenas resistem ao destacamento, quando devido à sua maior coesividade, existem no solo sob a forma de agregados. O limo e a areia fina são as partículas mais facilmente transportadas. A areia fina devido à falta de coesividade e o limo porque é electricamente neutro, não favorecem a formação de agregados. Segundo Richter e Negendank, (1977), (citados por Morgan, 1995), os solos com teores elevados de limo, (40 a 60%) são os solos mais erodíveis.

A fracção argilosa é fundamental para o estabelecimento dos agregados e estes são provavelmente um dos factores mais importante relativamente à erodibilidade do solo (Bryan, 1968, citado por Morgan, 1995). É possível destacar claramente a influência da fracção argilosa se se utilizar um modelo de erodibilidade no qual a argila sirva como indicador. Segundo Evans, (1980), (citado por Morgan, 1995), cujo modelo de erodibilidade se baseia na fracção argilosa, a influência do teor de argila é bastante significativo na erodibilidade de um solo, considerando que solos com fracções restritas de argila, entre 9 a 30%, são os mais susceptíveis à erosão. Embora alguns autores utilizem a percentagem de limo como um indicador de erodibilidade do solo, o uso da percentagem de argila é teoricamente mais coerente, uma vez que são os agregados e torrões, resultantes da combinação das partículas com a argila e matéria orgânica, que determinam a resistência do solo à erosão (Morgan, 1995).

Na erodibilidade interessa também conhecer o tipo de minerais de argila presentes. Em norma, os minerais de argila do tipo 2:1, devido às substituições isomórficas, ao espaçamento basal entre as camadas e à sua superfície específica, aumentam a probabilidade de formação de agregados. No entanto, a sua expansibilidade e contração com o humedecimento e secagem, torna-os instáveis. Os minerais do tipo 1:1 de que é exemplo a caulinite, são minerais mais estáveis, mas as trocas catiónicas são limitadas devido ao seu pequeno espaçamento basal e elevada espessura. Contudo, em termos de erodibilidade têm a vantagem da proximidade entre as placas permitir a existência de poucos pontos de dispersão.

A estabilidade dos agregados depende ainda, para além da textura e do teor de matéria orgânica, da composição química do solo, nomeadamente da percentagem de minerais de base. Estes minerais determinam a resistência dos agregados, já que propiciam as ligações químicas entre as partículas de solo. A compactação, os iões

adsorvidos, a composição química da água, o tempo e teor de humidade desde a última mobilização, o teor de humidade antes do humedecimento e a taxa de aplicação de água, são outros factores de que depende a estabilidade dos agregados (Trout e Neibling, 1993).

No que respeita à rega, o teor de humidade inicial do solo e a taxa de aplicação da água são importantes na estabilidade estrutural, porque determinam a diferença de potencial, e portanto a velocidade de entrada de água, entre e intra-agregados. Quando a diferença de potencial é muito grande, o humedecimento é muito rápido e a água que envolve os agregados não permite a saída de ar, provocando um aumento da pressão e o colapso dos agregados, o que facilita o destacamento das partículas. Por outro lado, quando o humedecimento é lento, a hidratação dos agregados provoca a sua expansão e conseqüentemente o aumento da distância inter-partículas, diminuindo assim a sua coesão. No entanto, segundo Grissinger, (1966), (citado por Morgan, 1995), quando no processo de infiltração a água promove uma reorientação das partículas, ou seja, uma orientação não paralela ao movimento da água, a coesão pode ser recuperada.

A estabilidade dos agregados pode ainda ser afectada pela composição química do solo e da água de rega, em particular pela concentração de sódio de troca e de electrólitos, factores que facilitam a maior ou menor possibilidade de dispersão dos agregados (Trout e Neibling, 1993).

Tal como na erosividade, a erodibilidade do solo decresce com o tempo e pode ser modelada por um coeficiente que decresce com o tempo ou com a massa erodida. Kabir e King, (1981), (citados por Trout e Neibling, 1993), modelaram esta variação da erodibilidade do solo com uma função apropriada que decresce logaritmicamente com o tempo.

## **2.2 Distribuição da erosão, transporte e sedimentação ao longo dos sulcos**

A erosão é um processo dinâmico que envolve o destacamento, transporte e deposição de partículas. Em teoria prevê-se que a taxa de erosão num sulco de rega deverá ser decrescente com a distância à cabeceira do sulco, ponto de entrada de água

no terreno regado (Trout, 1996). Nos estudos realizados sobre erosão na rega, a perda de solo é geralmente calculada com base nas recolhas de sedimentos efectuadas na extremidade dos sulcos, o que pode não revelar toda a dinâmica do processo já que a taxa de erosão é extremamente variável ao longo do sulco (Trout, 1996).

De acordo com Trout e Neibling (1993), o destacamento de partículas inicia-se na cabeceira dos sulcos, onde a entrada de água no sulco exerce desde o início e durante toda a fase de avanço um levantamento hidrodinâmico e forças de corte que provocam a desagregação e o destacamento das partículas do solo. Depois da fase de avanço o destacamento das partículas e a destruição dos agregados no perímetro molhado do sulco é basicamente função das forças de atrito exercidas pelo escoamento (Koluvek *et al.*, 1993). A força de atrito aumenta com a velocidade do escoamento e o destacamento verifica-se quando se atinge o valor crítico necessário para superar as forças de coesão entre os agregados e partículas do solo (Foster e Lane, 1983 citado por Kemper *et al.*, 1985). Assim, a fase crucial do processo erosivo é durante a fase de avanço da água nos sulcos de rega.

Depois de destacados, os sedimentos são transportados por alguma distância, dependendo do seu tamanho, densidade e da capacidade de transporte do escoamento. Além do destacamento, o próprio transporte de sedimentos contribui para o aumento das partículas em suspensão (Brown *et al.*, 1988). As partículas de maior densidade são transportadas por rolamento, deslizamento ou saltando ao longo do sulco, criando subpressões que levantam partículas de menores dimensões, como o limo e a argila, o que contribui para o aumento da carga de sedimentos em suspensão. As partículas mantêm-se em suspensão se a velocidade de escoamento se mantiver superior à velocidade de sedimentação das partículas (Trout e Neibling, 1993).

A capacidade de transporte do escoamento é definida como o limite superior de capacidade do escoamento para transportar os sedimentos, ou a concentração de sedimentos que seria alcançada num canal longo e uniforme (Graf, 1971 citado por Trout e Neibling, 1993).

Segundo, Koluvek *et al.*, (1993), é geralmente difícil determinar qual dos dois processos, erosão ou capacidade de transporte, controla o movimento dos sedimentos num canal. Contudo, em estudos sobre erosão é importante determinar qual dos processos é dominante, uma vez que no destacamento são determinantes as condições de declive, caudal, comprimento do sulco e erodibilidade do solo. Na capacidade de transporte são determinantes as condições de escoamento no ponto de recolha dos

sedimentos, o tamanho e densidade das partículas que compõem o sedimento. Na rega por sulcos, é essencialmente a capacidade de transporte que limita o transporte de partículas em sulcos longos, uma vez que à medida que a água infiltra ao longo do sulco, o caudal vai diminuindo com a distância à cabeceira do sulco, o que faz aumentar a concentração de sedimentos transportados.

À medida que a concentração de sedimentos no escoamento aumenta, a capacidade de transporte diminui e a probabilidade de deposição aumenta. A deposição verifica-se de acordo com a velocidade de sedimentação, pelo que as partículas mais pesadas e de maiores dimensões depositam primeiro, do que resulta uma redução do tamanho das partículas transportadas. Assim, a redução da capacidade de transporte é muitas vezes compensada pelo aumento da transportabilidade dos sedimentos resultante da redução do tamanho das partículas com a distância de transporte (Foster *et al.*, 1981, citados por Trout e Neibling, 1993).

Apesar de em algumas relações desenvolvidas a concentração de sedimentos transportada no escoamento influenciar a erosividade do escoamento, o actual efeito da carga de sedimentos é na deposição. Com o início da deposição as partículas vão sedimentando e ocupam os poros da superfície do solo, iniciando-se a formação de crosta. Segundo Brown *et al.*, 1988, a deposição de sedimentos no perímetro do sulco cria uma crosta de baixa permeabilidade, o que aumenta a tensão superficial da água no sulco. A tensão, por sua vez, aumenta a deposição e estabiliza a crosta. Este processo auto perpetua-se, estabiliza o perímetro do sulco e decresce a erodibilidade do solo com o tempo (Trout e Neibling, 1993), mas diminui no processo a infiltração do solo.

Consequentemente, a quantidade de sedimento transportado também se vai alterando com o tempo, mesmo com condições de escoamento constantes. Segundo, Trout, (1996), em sulcos de declive uniforme, a taxa de erosão e a capacidade de transporte de sedimentos deverá decrescer ao longo do sulco à medida que o caudal diminui.

A figura 2.1 descreve segundo Trout, (1996), a distribuição teórica da erosão e deposição do solo ao longo do sulco durante a rega.

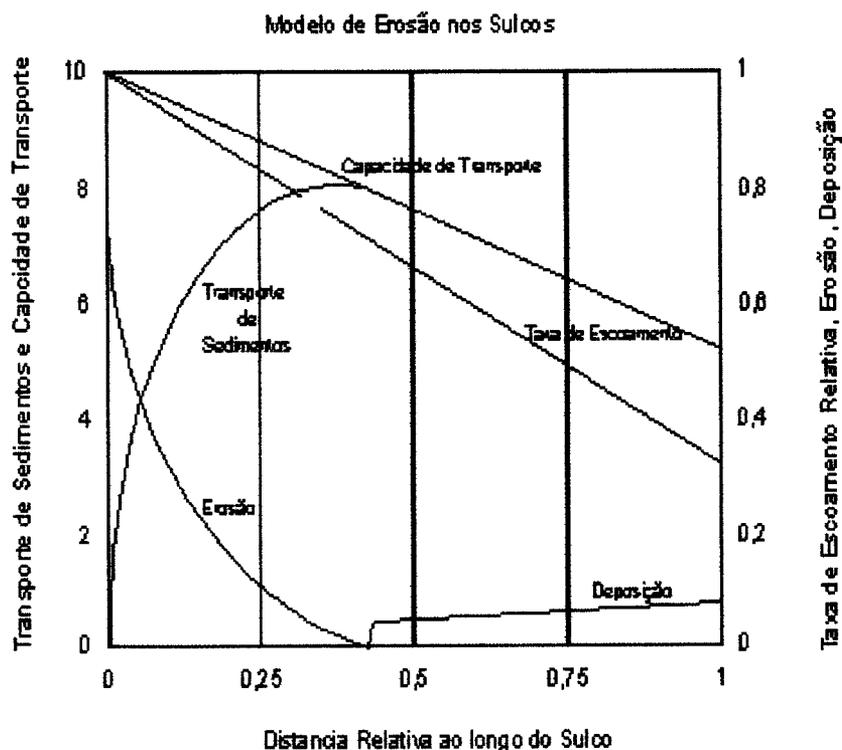


Figura 2.1 - Variação teórica da erosão, transporte e deposição ao longo do sulco durante a rega (Trout, 1996)

Este modelo pretende caracterizar a erosão na rega de superfície e é o único existente até hoje, uma vez que os modelos existentes de erosão pluvial não explicam a evolução do processo erosivo e portanto, a distribuição da erosão, transporte e deposição ao longo do sulco. Segundo este modelo de distribuição, grande parte da erosão verifica-se a 1/3 do comprimento total do sulco e vai decrescendo com a distância à cabeceira do sulco, à medida que o caudal vai diminuindo e o transporte de sedimentos aumenta. A capacidade de transporte decresce com o caudal e a deposição verifica-se quando os sedimentos transportados excedem a capacidade de transporte o que, segundo o modelo de distribuição, se inicia aproximadamente a meio do sulco e prevalece até à extremidade do seu comprimento. Apesar de se esperar uma erosão diferencial nos sulcos, e os resultados confirmam-na, este processo não está, ainda

bem documentado. Em estudos realizados por Mech, (1949), (citado por Trout, 1996), a perda de sedimentos a 1/3 do comprimento total do sulco foi 100 vezes superior à verificada na sua extremidade. Trout (1996), verificou também que cerca de 50% do solo erodido ocorria a 1/4 do comprimento total do sulco e depositava a 3/4 do comprimento total do sulco. Concluiu que cerca de 25% dos sedimentos destacados depositavam a 4/4 do comprimento total do sulco, e 25% eram escoados para fora do campo. Assim, a 1/4 do comprimento do sulco, a taxa de erosão era cerca de 16 vezes superior à erosão média do campo (Trout, 1996). Estes resultados mostram que praticamente toda a erosão se processa no início dos sulcos. Algures a 2/4 do comprimento total do sulco atinge-se o máximo transporte de sedimentos e a partir daí começa a deposição (Trout, 1996).

Se a erosão, o transporte e a deposição são processos diferenciados ao longo do comprimento dos sulcos, também se diferenciam ao longo das regas. A taxa de erosão a 1/4 do comprimento total do sulco varia de rega para rega, o que segundo Trout, (1996) pode dever-se à variação da estabilidade e erodibilidade do solo com o tempo. Contudo, a enorme variação da quantidade de sedimentos transportados com o tempo e entre regas, ao longo da segunda metade do campo (3/4), não é explicada pela presente teoria (Trout, 1996). A teoria prevê que para um determinado declive e caudal, se a erodibilidade aumenta, a capacidade de transporte seria atingida a curta distância, mas a capacidade de transporte, como propriedade, não deveria mudar.

A distribuição da erosão, transporte e deposição ao longo do sulco e das sucessivas regas, causam deposição diferencial de partículas o que provoca diferenças de textura, estrutura e de forma ao longo do sulco.

### ***2.2.1 Alteração da textura, estrutura e forma ao longo dos sulcos***

A alteração da textura verifica-se, de certa forma, de acordo com a distribuição da erosão. É máxima à cabeceira dos sulcos, onde a erosividade é maior e decresce ao longo do sulco com a diminuição da capacidade de transporte. Na cabeceira dos

sulcos verifica-se rapidamente um aumento de partículas de textura grosseira, o que segundo, Carter, (1993), pode provocar sérias perdas de produtividade sem necessariamente resultar numa produção excessiva de sedimentos na extremidade do campo. A degradação da textura existente para uma textura mais grosseira deve-se ao facto das partículas de menores dimensões, como as de limo e argila, serem as mais facilmente transportadas pelo escoamento ao longo do sulco, após a desagregação que se verifica com a entrada de água no sulco. São por isso também as que mais facilmente saem do campo.

Ao longo do sulco a evolução do processo erosivo é contínua, com o destacamento das partículas das paredes do sulco em contacto com a água, que são escavadas deixando sem apoio as zonas do perfil acima do perímetro molhado, que ao serem humedecidas por capilaridade, não resistem à força da gravidade e precipitam-se para interior o sulco (Brown *et al.*, 1988). Quando caem no sulco desagregam-se em pequenas partículas e as de menores dimensões são imediatamente transportadas, as restantes partículas e agregados depositam no fundo do sulco (Trout e Neibling, 1993).

Ao longo do sulco, quando a capacidade de transporte é atingida, as partículas em suspensão no escoamento depositam, alterando a estrutura da superfície do sulco, por diminuição da porosidade. Os sedimentos mais finos que se depositam no perímetro do sulco, formam a já referida camada de baixa permeabilidade - a crosta. A crosta promove o movimento das partículas mais finas e dificulta a mobilidade das maiores e agregados que depositam no fundo do canal e resultam em sulcos de secções transversais pequenas. O aumento da tensão superficial da água do escoamento, proporcionado pela formação de crosta, provoca por sua vez, o aumento da deposição e estabiliza a crosta (Trout e Neibling, 1993).

Em relação à forma do sulco, a alteração observa-se ao longo do tempo e de rega para rega. Esta alteração verifica-se também, de acordo com o destacamento, transporte e deposição de sedimentos que sendo decrescentes ao longo do tempo, fazem evoluir o perfil transversal do sulco até atingir uma forma estável. Esta forma estável é geralmente descrita por uma parábola ou uma função de potência, em que a forma transversal permanece praticamente constante, e as dimensões do perfil apenas se alteram com a variação das condições hidráulicas do escoamento (Trout, 1991). A erosão continua a uma taxa uniforme, até atingir uma camada de solo menos erodível, rebaixando a superfície do sulco e alargando o perfil (Brown *et al.*, 1988).

A zona de cabeceira dos sulcos é particularmente degradada, quer na textura e estrutura, quer na forma do perfil dos sulcos devido à elevada erosividade do escoamento no início dos sulcos e segundo Foster, (1982), deve-se provavelmente ao movimento de partículas soltas deixadas da mobilização ou de prévias deposições e partículas produzidas por desintegração de agregados durante o rápido humedecimento (Trout e Neibling, 1993).

Os mecanismos de destacamento, transporte e sedimentação que ocorrem ao longo do sulco são complexos e variáveis no tempo e no espaço. A sua intensidade nos sulcos pode variar com diversos factores que aumentem a erosividade do escoamento e/ou com factores que aumentem a resistência das partículas ao arrastamento e portanto, diminuam a erodibilidade do solo. O declive, o caudal, o comprimento do sulco, a rugosidade e o número de regas são factores que determinam onde e quando estes processos acontecem (Carter, 1993). Assim, na erosão induzida na rega por sulcos, o aumento de declive provoca o aumento da velocidade do escoamento, possibilitando uma maior desagregação e transporte de partículas do perímetro do sulco. O que por sua vez vai influenciar a distribuição dos sedimentos ao longo do sulco e portanto, a textura. Meyer *et al*, 1983 (citados por Miguens, 1997) afirmam que o efeito do declive no aumento da capacidade de transporte é maior que o efeito do caudal. Nos sulcos com maior declive a percentagem de argila no total de sedimentos arrastados é menor. As alterações do declive ao longo do sulco determinam as zonas de destacamento e deposição, limitando muitas vezes a capacidade de transporte do escoamento.

Baseados em numerosos estudos de erosão induzida na rega por sulcos, Koluvee *et al.*, (1993), previram que a erosão não deveria ser excessiva em declives inferiores a 1%. Kemper *et al.*, (1985), estimaram a relação exponencial entre erosão e declive entre 1.4 a 2.7.

A erosividade nos sulcos é também função do caudal e a variação deste determina a quantidade de partículas desagregadas, e consequentemente, a concentração de sedimentos e a capacidade de transporte do escoamento. A utilização de um caudal adaptado às condições de infiltração do solo e ao declive constitui uma das formas de controle das perdas de água e sedimentos na rega por sulcos. Devem-se adaptar os caudais às características do solo, utilizando-se caudais mais reduzidos na primeira rega quando o solo apresenta maior susceptibilidade à erosão, devido à mobilização recente (Carrol *et al*, 1995 citados por Miguens, 1997). Em estudos

realizados, Trout, (1996), constatou que a erosão a 1/4 do comprimento total do sulco e o transporte de sedimentos em todas as localizações aumentavam com o caudal, segundo uma relação exponencial, com expoente de 2 ou 3. Kemper *et al.*, (1985) estimaram um expoente de 1.1 e 1.7. O transporte de sedimentos na água que sai dos sulcos foi também proporcional aos caudais com potências de 2 a 3 (Trout, 1996). Fornstrom e Borrelli, (1984), determinaram a potência de 2.5, como o melhor ajustamento, entre o caudal de entrada e a quantidade de sedimentos à saída. Segundo, Trout, (1996), a média de erosão do campo, baseada em medições de saída de sedimentos, na extremidade do sulco, é sensível ao caudal de entrada com relações exponenciais de potência 4 e 6. Sistemas de rega que privilegiem a redução sistemática dos caudais e o seu ajustamento ao longo das regas, como o cabo-rega, são por isso indicados no controle da erosão induzida pelas regas.

O comprimento dos sulcos, poderá ser também, um dos factores a alterar a intensidade da erosão ao longo dos sulcos, uma vez que quanto maior for o comprimento dos sulcos, melhor será a aplicação de água e uniformidade da rega, diminuindo em principio o caudal ao longo do comprimento do sulco à medida que a água se vai infiltrando e conseqüentemente a probabilidade da perda de sedimentos na extremidade dos sulcos. No entanto, Carrol *et al*, 1985 (citados por Miguens, 1997), compararam a concentração de sedimentos no escoamento final em sulcos de diferentes comprimentos, e verificaram que não existiam diferenças significativas na quantidade de sedimentos transportados.

A rugosidade do solo é um dos factores que permite a diminuição da erodibilidade do solo pelo aumento de resistência à erosividade do escoamento. A rugosidade gerada pela microtopografia do solo aumenta a resistência das partículas da superfície do solo, mas por vezes o aumento da rugosidade pode ser gerado pela presença de resíduos ou plantas. Aarstad e Miller, 1981, observaram que a presença de resíduos de milho nos sulcos de rega eliminava quase por completo a erosão e turbidez do escoamento.

O número de regas efectuadas é também um factor directamente relacionado com a alteração da textura, estrutura e forma dos sulcos. Assim, a taxa de erosão mais elevada dever-se-à verificar na primeira rega, quando a camada superficial do solo ainda se encontra muito solta e o teor de humidade do solo é relativamente baixo, gerando grandes diferenças de potenciais, que provocam a desagregação. Nas regas seguintes esperam-se menores taxas de erosão, uma vez que a erodibilidade do solo

decrece com o tempo. Contudo, em ensaios realizados por Trout, (1996), a erosão e a descarga de sedimentos mais elevadas ocorreram na 2 e 3 regas, e as mais baixas no final da rega. Nestas últimas regas o declínio da concentração de sedimentos é geralmente observado e resulta da consolidação e estabilização dos solos (Trout, 1996).

As medições da concentração de sedimentos, realizadas normalmente no final do campo, apesar de úteis para avaliar a potencial destruição nos sulcos, subestimam a erosão no início do sulco e poderá conduzir a taxas de perda de solo toleráveis, contribuindo assim, para o decréscimo da produtividade dos solos à cabeceira dos sulcos. Medições a montante do campo, a cerca de 1/3 do comprimento do sulco, são recomendadas para determinar os danos provocados pela erosão (Trout, 1996).

### **2.3 Quantificação da erosão**

Os estudos de erosão pela acção da água iniciaram-se em solos incultos sujeitos à acção da água da chuva, aos quais se lhes seguiram os estudos em solos agrícolas e só mais recentemente se tem realizado investigação sobre a erosão induzida pela rega, e em particular na rega por sulcos. Os modelos desenvolvidos para quantificar a erosão do solo dividem-se em empíricos e físicos. Nos modelos físicos a erosão é expressa sob a forma de equações complexas que descrevem e relacionam os processos físicos e mecânicos envolvidos no processo, sendo usualmente utilizados para descrever consequências da erosão, fontes de poluição difusa e em previsões da distribuição espacial do escoamento e sedimentos após uma tempestade numa determinada superfície (Morgan, 1995) .

Os modelos empíricos baseam-se em equações simples que normalmente expressam uma relação estatística observada. O grau de complexidade do modelo depende do número de variáveis consideradas nas observações realizadas (Morgan, 1995), das quais são exemplo o caudal, o declive, o número de regas, a mobilização, etc.

Nos modelos empíricos utilizam-se diversas técnicas de determinação da perda de solo. Uma das técnicas utilizadas na rega por sulcos para a determinação da perda

de solo, é a utilização de uma caixa com rede na extremidade do sulco, na qual é colocado um filtro de forma a reter os sedimentos. Os sedimentos são depois levados para o laboratório, para que depois de secos seja possível a determinação da massa de solo perdida ao longo das regas. Contudo, esta técnica provou não ser muito eficaz, uma vez que o material de granulometria inferior à malha do filtro é perdido, não sendo contabilizado. A utilização de filtros de malha mais fina, levava à colmatação ou à utilização de uma grande quantidade de filtros, tornando o processo moroso e dispendioso.

Outra técnica semelhante, frequentemente usada, é a recolha de água do escoamento para recipientes, que são transportados para o laboratório, onde a determinação da massa de sedimentos é realizada através do método 224C (Taras *et al.*, 1971 citados por Sojka *et al.*, 1992). Este método envolve a pré-pesagem dos papeis de filtro, a armazenagem das recolhas efectuadas no campo, a lenta filtração dos sedimentos em suspensão, secagem na estufa dos papeis de filtro com os sedimentos filtrados e na re-pesagem dos papeis com os sedimentos. Geralmente este processo requer um longo de tempo na preparação de cada amostra no laboratório e em média, uma semana para recolher e processar 100 amostras, o que naturalmente impõem um limite económico e logístico na monitorização da concentração de sedimentos num estudo intensivo de erosão em solos de regadio (Sojka *et al.*, 1992).

A determinação da turbidez, é outra técnica que também tem sido explorada, como um indicador rápido e indirecto dos sedimentos em suspensão (King *et al.*, 1978, citados por Sojka *et al.*, 1992). Este método torna-se, segundo Sojka *et al.*, (1992), particularmente inadequado quando a concentração de sedimentos é elevada e a rápida sedimentação de grandes quantidades de material em suspensão ocorre.

Várias relações de massa volume foram simplificadas e exploradas para quantificar sedimentos em suspensão mais rapidamente. No entanto, todos requerem à partida o estabelecimento de algumas condições, atendendo à suspensão e densidades das partículas, ou o uso de hidrómetro para determinar os seus valores. Estas aproximações foram, normalmente, abandonadas porque requeriam a recolha e armazenagem das amostras e um tedioso procedimento laboratorial.

A técnica mais inovadora e recentemente aplicada nos estudos de erosão tem sido a utilização dos cones de Imhoff. Esta técnica surgiu inicialmente para o controlo de águas residuais. Mas mais tarde, uma variação da técnica foi usada para determinar a erosão num número limitado de solos argilo-licosos (Van Nieuwkoop, 1979 citado

por Sojka *et al.*, 1992). Em 1992, Stice, citado por Sojka *et al.*, (1992), verificou que o volume de sedimentos lido em cones de Imhoff podia ser estatisticamente relacionado com a concentração de sedimentos. Em ensaios realizados, Sojka *et al.*, (1992), constataram que a maioria dos sedimentos em suspensão sedimentava após 0.25 a 0.5 hora, independentemente do tipo de textura do solo abrindo assim, a possibilidade de utilização desses cones em estudos sistemáticos de erosão. Mesmo em solos argilosos a sedimentação é suficientemente rápida, uma vez que a maior parte dos sedimentos em suspensão são agregados e não partículas primárias individuais.

Os cones de Imhoff são graduados de 0.1 a 1000 ml e permitem depois de calibrados, uma rápida e precisa determinação do volume de sedimentos perdidos no escoamento, de um determinado local num campo. Da calibração dos cones resulta uma equação do tipo,

$$Scon_i = Svol_i \times b \quad (2.2)$$

onde,  $Scon_i$  é a massa de sedimentos recolhidos no escoamento, num determinado momento  $i$ ,  $Svol_i$  é o volume lido nos cones de Imhoff e  $b$  é o declive da recta.

Com base na técnica dos cones de Imhoff, Sojka *et al.*, (1992), desenvolveram dois programas para facilmente estimar a perda de solo num intervalo fixo de tempo, por rega ou por época de rega. Nos dois programas é necessária a introdução das equações de calibração dos cones de Imhoff, dos caudais de entrada e os caudais de saída das regas para o intervalo de tempo que se pretende avaliar, comprimento e largura dos sulcos, o número total de regas efectuadas se se desejar calcular a perda de solo por época, e a densidade aparente se se desejar estimar também a espessura de solo erodida. No presente estudo a determinação da perda de sedimentos e do transporte de sedimentos ao longo do sulcos foi efectuada recorrendo à utilização das equações descritas nos programas de Sojka *et al.*, (1992). Assim, após a utilização da equação de calibração dos cones de Imhoff para converter o volume de sedimentos recolhidos no escoamento ( $Svol_i$ ), em massa de sedimentos no escoamento ( $Scon_i$ ), a determinação da quantidade de sedimentos perdidos é obtida através da equação,

$$PS(g) = \sum_{i=1}^n Scon_i \times Qs_i \times P_i \quad (2.3)$$

em que PS é a perda de solo em g,  $S_{con_i}$  é a concentração de sedimentos no escoamento num intervalo de tempo  $i$ ,  $P_i$  é o intervalo de tempo entre cada recolha e  $Q_{s_i}$  é o caudal de saída no momento  $i$ .

A conversão da quantidade de solo perdido num sulco para 1 hectare de cultura, é realizada utilizando o comprimento e largura dos sulcos, com a equação que se segue,

$$PS_A(\text{kg/ha}) = (PS \times 10)/(L \times L_a) \quad (2.4)$$

onde,  $PS_A$  é a perda de solo em kg/ha, PS é a perda de solo em g, L é o comprimento do sulco e  $L_a$  a largura do sulco.

A determinação da espessura de solo perdida é possível se se conhecer a densidade aparente, utilizando então a equação,

$$PS_D(\text{mm}) = PS_A / (y \times D_{ap}) \quad (2.5)$$

na qual,  $PS_D$  é a espessura de solo perdido,  $PS_A$  a perda de solo num hectare de cultura,  $D_{ap}$  a densidade aparente e  $y$  a constante de conversão ( $y = 10\,000 \text{ g/cm}^3$ ).

Com base no modelo de Sojka *et al.*, (1992) a erosão é determinada empiricamente para cada local em estudo.

Os modelos de previsão da erosão foram inicialmente desenvolvidos para estimar a acção da água da chuva no solo e iniciaram-se em 1940, com a equação de Zingg, que relacionava a erosão com o comprimento de encosta e o declive. Mais tarde, Smith, (1958), introduz-lhe o factor culturas, fazendo variar o grau de protecção oferecido pelo revestimento do solo, com o tipo de cultura. A equação universal de perda de solo (USLE), surge com Wischmeier, (1959), com a substituição do factor climático pelo índice de erosividade da chuva. Em 1978, a equação foi modificada, por Wischemeier e Smith, com a introdução de um novo factor, para quantificar as práticas culturais, definindo, assim, o tipo de mobilizações efectuadas (Morgan, 1995). Esta equação começou a ser largamente utilizada nos E.U.A a partir dos anos 70, permitindo a formulação de políticas de conservação. A sua vasta utilização para diferentes locais geográficos, com índices de erosividade, necessariamente diferentes, e locais não previstos originalmente, como são exemplo as zonas de floresta, conduziram à introdução de algumas adaptações, passando a designar-se por equação

universal de perda de solo revista (RUSLE) (Renard *et al.*, 1991, citados por Morgan, 1995). Este modelo de previsão é ainda hoje o mais utilizado, na previsão da perda de solo efectiva e simulada para diferentes práticas culturais e/ou rotação de culturas, contudo, apesar da sua universalidade, em sistemas de regadio é possível utilizá-lo em rega por aspersão ou em rega com pivots mas não se aplica à rega por sulcos.

O primeiro estudo sobre a distribuição diferencial da erosão ao longo dos sulcos foi realizado por Mech, (1949) (Trout, 1996). Mas o desenvolvimento de um modelo de previsão da distribuição da erosão induzida na rega por sulcos, (descrito na figura 2.1), surgiu apenas com Trout em 1996, partindo de relações de interacção entre o transporte de sedimentos, a capacidade de transporte, o caudal, a erosão e a desposição ao longo do comprimento total do sulco.

#### **2.4 A infiltração na rega por sulcos**

A infiltração é o processo que caracteriza a entrada de água no solo. É quantificável através da taxa de infiltração e/ou da infiltração acumulada. A taxa de infiltração é decrescente no tempo e tende assintoticamente para uma taxa praticamente constante, designada por capacidade de infiltração final. A taxa de infiltração, que se caracteriza pelo volume de água que entra no solo por unidade de tempo e por unidade de área, depende de factores externos, como a taxa de fornecimento de água, e de factores intrínsecos ao solo, como a capacidade de infiltração.

Define-se infiltrabilidade do solo ou capacidade de infiltração, como o fluxo de água que o solo pode absorver a partir da sua superfície, quando em contacto com a água à pressão atmosférica. A infiltrabilidade é uma característica intrínseca do solo, por isso varia, de acordo com a textura, estrutura do solo e com as características pedológicas do perfil do solo. A infiltrabilidade é também influenciada pelo teor inicial de humidade e sucção do solo.

Na rega de superfície a taxa de infiltração iguala a infiltrabilidade, uma vez que há a presença de uma toalha de água à superfície. No caso particular da rega por

sulcos, a infiltração é um processo complexo porque se efectua através de uma superfície curva irregular, não horizontal, e pode tomar-se como bidimensional (Serralheiro, 1996). Assim, os volumes infiltrados e as respectivas taxas variam não só com o tempo, com a textura e estrutura e características dependentes destas, como a permeabilidade e rugosidade dos sulcos, como também com a forma e as respectivas dimensões da secção transversal, nomeadamente com o perímetro molhado que representa e mede, se multiplicado pelo comprimento do escoamento, a superfície efectivamente infiltrante (Serralheiro, 1996). Outros factores como o teor inicial de humidade e a taxa de humedecimento, que definem a diferença de potencial e consequentemente a velocidade de infiltração, assim como a presença de eventuais crostas, condicionam a infiltração.

A relação entre a infiltração e o perímetro molhado dos sulcos tem sido desde algum tempo objecto de estudo por muitos investigadores. Fangmeier e Ramsey, (1978), (citados por Trout, 1992) mediram decréscimos da infiltração aproximadamente proporcionais com o decréscimo do perímetro molhado, resultante do decréscimo do caudal em sulcos abertos com precisão. Izadi e Wallender, (1985), (citados por Miguens, 1997), afirmam que a influência do perímetro molhado no volume infiltrado é maior no início do processo de infiltração. Depois a variabilidade do solo passa a desempenhar um papel mais importante na variação da infiltração, o que conduz à redução da influência do perímetro molhado com o tempo.

Trout, (1992) afirma que a infiltração na rega por sulcos sob condições de solo homogéneas, deve aumentar com o perímetro molhado a uma taxa decrescente. Com a excepção dos solos, em que a permeabilidade das paredes do sulco é superior à do fundo do sulco, onde a infiltração aumenta a uma taxa crescente com o perímetro molhado. Esta condição pode verificar-se quando a deposição de sedimentos no fundo do sulco provoca a formação de crosta superficial e, simultaneamente o deslizamento das paredes do sulco que vão sendo escavadas, mantêm a superfície mais permeável.

A infiltração nos sulcos varia, assim, no espaço, de acordo com as alterações geométricas provocadas pela erosão, transporte e deposição, que alteram o perímetro molhado e a velocidade do escoamento. E no tempo, de acordo com a capacidade de infiltração, que pode ser condicionada à superfície, com a formação de crosta nas zonas de deposição.

A diminuição da infiltração com a formação de crosta tem sido objecto de vários trabalhos de investigação. Inicialmente, Miller e Aarstad, (1971),

demonstraram que a infiltração na rega por sulcos é dominada pelas condições do fundo do sulco (Eisenhauer *et al.*, 1983). Mais tarde, Segeren e Trout, (1991), estudaram crostas superficiais em solos, com condutividade hidráulica saturada constante ao longo do perfil e constataram que a infiltração tinha sido reduzida em 46%. Ainda em 1991, Trout, verificou que a crosta superficial podia reduzir a infiltração acumulada em 50%.

Em 1992, Eisenhauer *et al.*, (1992), verificaram que a infiltração não é sempre significativamente influenciada pela crosta superficial. A crosta tem mais controle sobre a infiltração quando já se encontra formada no início da rega. Eisenhauer *et al.*, (1983), verificaram que a taxa de formação de crosta aumenta com o aumento do caudal. Brown *et al.*, (1988), também referem que o aumento do caudal, aumenta a formação de crosta, que por sua vez diminui a infiltração (Trout, 1992).

Os resultados de infiltração obtidos com uma grande variedade de caudais e declives, mostram que a infiltração está inversamente relacionada com a velocidade da água de escoamento. A influência da velocidade do escoamento sobre a infiltração pode ser reduzida até esta atingir um valor crítico de energia suficiente para destacar e transportar as partículas de solo. Com o aumento da velocidade do escoamento, o movimento de partículas e a formação de crosta aumentam e conseqüentemente, a infiltração diminui devido ao aumento da espessura da crosta. A velocidade elevada, a taxa de decréscimo da infiltração diminui e a infiltração aproxima-se de um valor constante, uma vez que a espessura da crosta vai diminuindo com o aumento da capacidade de transporte do escoamento e a redução de deposição das partículas finas. Estas relações fortalecem a relação inversa entre o declive e a infiltração (Trout, 1992).

O movimento dos sedimentos e a formação de crosta no perímetro do sulco variam com o tipo solo. Solos com maior estabilidade e menos sujeitos à erosão têm provavelmente uma relação entre a infiltração e a velocidade do escoamento mais fraca (Trout, 1992). Segundo, Trout, (1992), os efeitos da velocidade de escoamento sobre a infiltração são multiplicativos e não aditivos e resultam da modificação das influências que outros factores, como o perímetro, exercem no aumento ou na redução da taxa de infiltração pelo efeito da velocidade.

### 2.4.1 Equações de infiltração

As equações de infiltração permitem-nos estabelecer a variação da taxa de infiltração ou a variação da infiltração acumulada no tempo num determinado solo. As diversas equações desenvolvidas ao longo do tempo têm sido mais empíricas do que analíticas, o que se deve provavelmente à dificuldade em considerar e quantificar todos os parâmetros determinantes para um modelo analítico do fenómeno. E segundo, Clemmens, (1983) (citado por Scaloppi *et al.*, 1995 em Miguens, 1997) as equações obtidas empiricamente adaptam-se melhor aos valores de infiltração observados no campo que as equações obtidas analiticamente.

Entre as equações de carácter mais analítico, contam-se como exemplo a de Green e Ampt (1911) e a de Philip (1957). A equação de Green Ampt (1911) é a equação mais antiga de infiltração, derivada da lei do movimento da água do solo cuja forma derivada é

$$I = i_f + b/I \quad (2.6)$$

onde a constante  $b$  é o produto  $KS(\theta_o - \theta_f)$ , sendo  $S$  o potencial hidráulico na frente de humedecimento e  $\theta_o$  e  $\theta_f$  os teores de água inicial e final;  $K$  é a condutividade hidráulica (em saturação),  $i_f$  é a taxa de infiltração final e  $I$  é a altura de água infiltrada (Serralheiro, 1996).

A de Philip (1957) é baseada na “sorvidade” e na condutividade hidráulica, cuja equação é,

$$I = S \times t^{1/2} + C \times t \quad (2.7)$$

onde  $I$  é o volume de água infiltrado,  $t$  o tempo,  $S$  é uma constante característica do solo a que Philips designou por “sorptivity”, que traduz a influência conjunta do potencial matricial e da condutividade hidráulica, e  $C$  é igual à condutividade hidráulica do solo em saturação (Serralheiro, 1996).

Entre as equações empíricas, mais usadas encontram-se a de Kostiakov (1932), e a de Horton (1940).

A equação mais simples e a mais usada em rega de superfície é a proposta por Kostiakov em 1932, representada por,

$$I = k t^a \quad (2.8)$$

em que, I é o volume da água infiltrada no tempo t, k e a são parâmetros empíricos. Os parâmetros da equação para um dado campo e rega são baseados nas médias de medições efectuadas, partindo do princípio que a capacidade de infiltração é uniforme ao longo do campo (Serralheiro, 1996).

A equação de Kostiakov ainda que largamente utilizada tem no entanto, como inconveniente o facto da sua forma derivada,

$$i = a k t^{a-1} \quad (2.9)$$

ser assintótica ao eixo do tempo, tendendo a infiltrabilidade i para zero à medida que o tempo tende para infinito (Serralheiro, 1996).

A infiltrabilidade é uma característica intrínseca ao solo, que varia de solo para solo. A taxa de infiltração é decrescente e tende passado algum tempo, geralmente antes do fim da rega, para um valor constante, designado por infiltrabilidade final. Devido a este facto, alguns autores utilizam a equação de Kostiakov modificada, também conhecida por equação de Kostiakov-Lewis, na qual aos termos da equação (2.8) somam uma constante  $i_f$  que é a infiltrabilidade final

$$I = k t^a + I_f t \quad (2.10)$$

Uma das dificuldades desta equação e de outras semelhantes, é efectuar um número de medições suficientes para obter o valor de  $i_f$ .

A equação de Horton, (1939), inclui um termo exponencial e é

$$I = i_f t + \frac{i_0 - i_f}{\varepsilon} (1 - e^{-\varepsilon t}) \quad (2.11)$$

em que  $i_0$  é a capacidade de infiltração inicial do solo (quando  $t = 0$ ),  $\varepsilon$  é um parâmetro do solo que representa a taxa de decréscimo da taxa de infiltração. No entanto, segundo Serralheiro, (1996) esta equação não parece adequada para a rega

por sulcos. Num trabalho realizado por Serralheiro em 1988, no qual se comparava a aderência das equações de Philip, Lewis, do Soil Conservation Service e a de Kostiakov à infiltração na rega por sulcos num solo argiluvado, a equação de Kostiakov foi a que melhor se ajustou aos resultados obtidos (Serralheiro, 1996).

Assim, neste trabalho a determinação da taxa de infiltração teve por base a equação de Kostiakov, (1932).

## **2.5 Práticas de conservação do solo**

A erosão tem início quando a energia do caudal de rega é suficiente para destacar e transportar as partículas do solo. Por isso, qualquer tratamento que diminua a energia do escoamento, diminuindo a erosividade, e/ou aumente a estabilidade dos agregados, diminuindo a erodibilidade do solo, diminui a erosão. A diminuição da erodibilidade, preservando a textura e estrutura do solo, além da diminuição da erosão do solo favorece a infiltração.

A noção de conservação do solo, quer por diminuição da erosividade, quer por diminuição da erodibilidade, existe praticamente desde de que existe agricultura, tendo-se provavelmente iniciado com o sistema de pousio.

Na rega por sulcos numerosas práticas de conservação para diminuir a erosividade do escoamento, como a utilização de faixas de vegetação, resíduos, palha, mobilizações reduzidas e construção de terraços, têm sido desenvolvidas e investigadas. Uma das formas mais simples de diminuir a perda de solo é alterar a mobilização tradicional, realizada geralmente no sentido do maior declive, para outras formas de mobilização do solo como as mobilizações reduzidas e de contorno às curvas de nível, diminuindo assim a erosividade do escoamento. Contudo esta última prática pode, em certos casos, ter um efeito contrário ao esperado, aumentando o risco de erosão, quando implantada em terreno declivoso, porque não é garantido aos sulcos um escoamento fácil, provocando a eventual acumulação de água e rotura dos sulcos, com conseqüente escorrimento transversal e ravinação, segundo o declive do terreno (Serralheiro, 1996).

Quando não é possível a mobilização por contorno às curvas de nível, ou não é suficientemente eficaz para o controle da erosão, poder-se-á optar pela construção de terraços. Esta forma de organização do terreno, consiste na construção de valados ou

sistemas de vala e câmore, aproximadamente segundo as curvas de nível, que têm ainda a vantagem de reduzir o comprimento de encosta, sendo por isso, mais eficaz que o anterior no controle da erosão (Serralheiro, 1996).

No Alentejo, o relevo ondulado, proporciona uma topografia irregular que pode implicar sistemas de terraços totalmente constituídos por valados de declive constante, sem qualquer paralelismo (Serralheiro, 1996). Este tipo de terraços têm como inconvenientes, o facto da regularização do terreno ser muito dispendiosa, e por vezes não aconselhável em solos argiluvitados, devido à pequena espessura do horizonte A, nas zonas sujeitas a corte e a impermeabilidade do horizonte B. O facto de ter larguras variáveis com zonas sobrantes, e a curvatura dos sulcos, limitam também a utilização das máquinas agrícolas (Serralheiro, 1996).

Quanto aos outros métodos de conservação como a utilização de faixas de vegetação, resíduos e palha, têm sido utilizados e desenvolvidas desde os anos 70 na diminuição da erosividade, conseguindo-se eliminar mais de 80% do transporte de sedimentos no escoamento (Sojka, 1997). Contudo, este tipo de técnicas não são geralmente adoptadas pelos agricultores, quer nos E.U.A, quer em Portugal, porque interferem com os métodos culturais, exigem um esforço suplementar e são muitas vezes dispendiosos. Têm ainda como inconveniente o facto de que apesar de bastante eficazes no controle do transporte de sedimentos, não conseguem evitar a perda das partículas de argila – o composto do solo mais crítico na fertilidade, agregação e estabilidade do solo (Brown *et al.*, 1971, citados por Sojka e Lentz, 1996).

A manutenção dos agregados e partículas de argila no terreno, é possível utilizando práticas de conservação que visem a diminuição da erodibilidade do solo, proporcionando a agregação entre as partículas e a estabilidade dos agregados, como é o caso da incorporação de matéria orgânica no solo, que privilegia a ligação e a coesão entre as partículas, melhorando a estrutura do solo.

Uma alternativa viável ao uso dos condicionadores naturais, de que é exemplo a matéria orgânica, são os condicionadores artificiais. A utilização de condicionadores artificiais, como as poliacrilamidas aniónicas, tem sido recentemente uma alternativa à qual os agricultores mostram uma certa adesão, quer pelo facto de não interferir com os métodos culturais e calendário da exploração, quer pelo facto primordial de produzir resultados visíveis com pequenos custos.

### 2.5.1 Os condicionadores artificiais do solo

Os condicionadores artificiais do solo não são recentes, surgiram com as tentativas de alteração das características físicas do solo para melhorar a sua capacidade produtiva. Durante centenas de anos a capacidade produtiva era melhorada com a aplicação de matéria orgânica ou sais divalentes, como o gesso ou magnésio e carbonato de cálcio e mais recentemente a aplicação de condicionadores.

A investigação para melhorar a compreensão das propriedades mecânicas e físicas dos solos surgiu em 1939-1940, concentrando-se na estabilidade dos agregados e na investigação do papel desempenhado por componentes coloidais como o húmus, hidróxidos de ferro e outros, na resistência aos impactos dos agentes erosivos (De Boodt, 1993).

Desde os trabalhos pioneiros de Duley, (1939) muitos estudos demonstraram a significativa influência de factores como a estrutura, textura, porosidade e retenção de água, na formação de crosta, na diminuição da infiltração, emergência das plantas e no aumento da erosão (Rubin 1966, Segimer e Morin 1970, Callebaut *et al.*, 1986, Ronkens *et al.*, 1990, LeBissonais 1970 citados por Roa, 1996).

Os condicionadores químicos do solo foram largamente utilizados na segunda guerra mundial de forma a permitir a rápida construção de estradas e caminhos sob condições adversas (Wilson e Crisp, 1975 citados por Sojka e Lentz, 1996). Após a guerra e a devastação sofrida, o interesse na utilização de condicionadores químicos na agricultura, como forma de melhorar a estrutura aumentou consideravelmente, e assim, apesar do seu custo, a investigação em polímeros sintéticos, durante os anos 50 continuou (De Boodt, 1993). Esta tecnologia chegou à agricultura nos anos 50, com uma variedade de compostos sintéticos, que foram usados para aumentar a estabilidade dos agregados do solo nas camadas mobilizadas dos campos agrícolas. O primeiro condicionador efectivo sintético do solo foi o Krilium.

Várias formulações das substâncias macromoleculares, incluindo adições de argila, eram conhecidos por Krilium. Mais tarde um terceiro produto, o copolímero de isobutileno de anidrido málico (IBMA) foi introduzido. Uma variedade de mistura destas substâncias foram introduzidas no mercado sob diferentes nomes, mas todos demasiado dispendiosos. As aplicações iniciais de condicionadores, eram da ordem de 560-1120 Kg/ha, o que tornava o custo do tratamento da camada arável demasiado

dispendioso (Sojka e Lentz, 1996). Eram normalmente aplicados no solo através de pulverização, o qual era posteriormente mobilizado, de forma a que os condicionadores fossem incorporados no solo. Por vezes, múltiplas aplicações eram necessárias para atingir o nível desejado de estabilização dos agregados criados na mobilização. O conceito assente, era melhorar a estrutura da camada de solo mobilizada e a sua estabilidade (Sojka e Lentz, 1996).

Desde 1950 até agora o número de condicionadores aumentou e a forma de aplicação diversificou-se. Hoje, os condicionadores de solo já não são aplicados exclusivamente para induzir a floculação da argila e a estabilização dos agregados, mas também para promover outras características físicas aos solos. Os novos condicionadores são produtos que podem tornar o solo, mais hidrofílico de que são exemplo as poliacrilamidas, mais hidrófobo utilizando soluções betuminosas de degradação lenta, aumentar a temperatura do solo à superfície usando palha ou emulsões betuminosas de degradação rápida, estabilizar a estrutura do solo mobilizado de forma a torná-lo mais permeável às raízes ou aumentar a capacidade de troca catiónica com aplicação de emulsões fortes com funções ácidas, ou soluções de silicato de alumínio e magnésio, ou zeolites (DeBoodt, 1993).

Os condicionadores hidrófobos disponíveis como emulsões são particularmente usados em os solos que formam crosta. Outros benefícios deste tipo de tratamento é o aumento da permeabilidade saturada e a conseqüente redução da evaporação. A acção deste tipo de condicionador depende do modo de migração das micelas activas, como também do seu tamanho e estabilidade (De Boodt, 1993).

Os condicionadores hidrofílicos são conhecidos desde da década de 50, são biodegradáveis e quando dissolvidos numa grande quantidade de água são também designados por hidrógeis (De Boodt, 1993). Destes os mais conhecidos e de aplicação no solo menos dispendiosas são os fortes dipolimeros, com ligações positivas ou negativas e designados por PAM (De Boodt, 1993). Este polímero induz a estabilidade e agregação, tornando o solo mais hidrofílico e portanto, aumentando a capacidade de absorção e infiltração da água.

### 2.5.1.1 As poliacrilamidas aniónicas

Poliacrilamida e PAM são termos genéricos. PAM são polímeros constituídos por monómeros em subunidades repetidas. A matéria prima mais comum para a síntese de poliacrilamida é o gás natural, uma fonte que normalmente é queimada nos poços de petróleo.

Como em todos os polímeros, as propriedades dos PAM dependem do tamanho do polímero. Uma analogia familiar na natureza é a forma como simples monómeros de glucose são progressivamente polimerizados em polissacarídeos e celulose. As PAM variam também no tamanho molecular, o qual depende do número de monómeros de acrilamida (AMD) que se combinam para formar a cadeia de poliacrilamidas. Os polímeros de PAM podem ser alterados em algumas subunidades da cadeia (Sojka e Lentz , 1996).

Nos anos 50 as poliacrilamidas foram também usadas na agricultura, mas tinha um peso molecular substancialmente mais baixo que o PAM apresentado hoje. As taxas de aplicação variavam na altura, entre 560 Kg/ha a 1120 kg/ha, sendo tradicionalmente incorporado na camada arável para melhorar a estrutura do solo (Sojka e Lentz, 1994 citados por Mitchell *et al.*, 1996), o que justifica em grande parte as elevadas taxas de aplicação.

As PAM usadas hoje na água de rega de forma a controlar a erosão são copolímeros. Consistem em poliacrilamidas de elevado peso molecular, tipicamente de 12-15 mg/mol (>150000 unidades de monómeros de AMD por molécula), onde um em cada cinco grupos de amidas (AMD) é substituído por um ião de sódio (-O<sup>-</sup>Na<sup>+</sup>). O catião de sódio dissocia-se na água deixando ao polímero uma carga negativa por cada catião dissociado, de acordo com a figura (2.2).

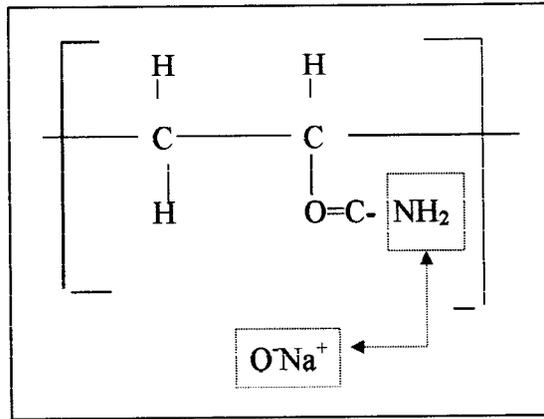


Figura 2.2 Representação da substituição do grupo amida por um ião de sódio na estrutura do polímero

Numerosos estudos de laboratório em colunas e lisímetros foram conduzidos nos anos 70 e 80 para estudar o efeito dos PAM na dispersão do solo, os fenómenos de adsorção e desadsorção e os efeitos na infiltração. Desde 1980 surgiram muitos artigos sobre os efeitos de tratamentos com PAM na infiltração e erosão em ensaios com simuladores de chuva (Sojka e Lentz, 1996).

O tratamento da água de rega com poliacrilamidas aniónicas de elevado peso moléculas, iniciou-se em 1991 e atendendo ao rápido incremento na sua utilização, pode vir a ser a tecnologia de conservação de crescimento mais rápido na agricultura, uma vez que em 1995, o primeiro ano da sua aplicação comercial nos E.U.A, cerca de 20 000 ha foram tratados com PAM (Sojka e Lentz, 1996).

### ***2.5.2 Controle da erosão e aumento da infiltração com a aplicação de PAM na rega por sulcos***

Estudos sobre os efeitos da aplicação de condicionadores do solo na água de rega por sulcos foram inicialmente conduzidos por Paganyas em 1975. Contudo no artigo publicado, não referia qual o tipo de condicionador utilizado, referindo apenas tratar-se do composto “K” que, segundo Sojka e Lentz, (1996), pela descrição, sugere

tratarem-se de químicos do tipo PAM. Pequenas concentrações de PAM foram colocadas no início dos sulcos para o pré-tratamento. Depois do pré-tratamento o sulco era regado, com uma redução significativa da erosão (Sojka e Lentz, 1996).

Gabriels *et al.*, (1973), (citados por Mitchell *et al.*, 1996), tinham já verificado que a PAM aniónica aplicada à superfície do solo a uma taxa de 38 Kg/ha era eficaz na prevenção do escoamento superficial e na manutenção da taxa de infiltração. Em 1986, Mitchell (1986), num ensaio com o objectivo de verificar os efeitos da aplicação de PAM na infiltração, observou que a utilização de PAM aniónicas durante o avanço da água no sulco com concentrações de 25.5 a 150 ppm reduzia a dispersão de partículas nos sulcos.

Os vários trabalhos de investigação que se lhe seguiram utilizaram poliacrilamidas de vários pesos moleculares e densidade de carga, fazendo portanto, variar os resultados obtidos e a quantidade aplicada de PAM, quer na redução da erosão, quer no aumento ou manutenção das taxas de infiltração. A estabilização do solo pode ser induzida pela aplicação de poliacrilamidas que favoreçam a agregação e/ou a floculação das partículas do solo. A floculação, requiere polímeros de peso molecular elevado (Chamberlain e Cole, 1996). As PAM de baixo peso molecular podem estabilizar os agregados mas tem um efeito muito pobre na floculação. As PAM de elevado peso molecular são eficazes em ambos mecanismos, agregação e floculação. Por isso os produtos normalmente utilizados tem pesos moleculares elevados.

Em sulcos com solo bem agregado e com caudais pequenos, (na proximidade do fundo do campo), a estabilização pode ser induzida largamente pela agregação, enquanto que a floculação é provavelmente um mecanismo essencial em solos pouco estruturados. Dos dois mecanismos, aumentar a estabilidade dos agregados é segundo Chamberlain e Cole, (1996), o método preferível tanto na prática como teoricamente. Os agregados de solo ficam no seu lugar e tratar a superfície dos agregados deverá requerer menos quantidade de polímero. A floculação irá largamente reduzir, mas não prevenirá o movimento do solo. É também sabido que a estrutura dos flocos pode ser afectada pela estrutura do polímero e pela dosagem, produzindo flocos menos permeáveis à água.

É reconhecido que o PAM aniónico de elevado peso molecular pode reduzir a erosão por dois mecanismos distintos: melhorando a estabilidade dos agregados do solo e floculando os sólidos suspensos, e portanto ajudando à deposição das partículas

no sulco (Chamberlain e Cole, 1996). A utilização de PAM de elevado peso molecular veio permitir a redução das taxas de aplicação anteriormente utilizadas, mas a aplicação de PAM na água de rega só se tornou eficaz a pequenas concentrações, quando Lentz *et al.*, (1992), propuseram que, se devia tratar apenas o perímetro molhado dos sulcos. Uma vez que apenas a fina camada de solo em contacto com a água de rega é afectada pela dispersão, destacamento e forças de corte da água no seu avanço pelo sulco. A utilização de PAM é assim, mais eficaz e menos dispendiosa, se for aplicada à superfície do solo e não incorporada com a mobilização do solo. A aplicação de PAM na água de rega, em vez da aplicação na mobilização, proporcionou um benefício adicional que foi a floculação dos sedimentos no fluxo de água, o que reduz a sua transportabilidade e aumenta a tendência para se depositarem no sulco (Lentz *et al.*, 1992).

Nas investigações que se seguiram ao trabalho de Lentz *et al.*, (1992), os resultados obtidos no controle da erosão e aumento da infiltração com aplicação de PAM na água de rega, variam consoante o tipo de polímero aplicado, concentração na água de rega, com a forma de aplicação e com as condições do campo. Lentz *et al.*, (1992), verificaram que o tratamento eficaz com PAM, apenas no avanço da água no sulco, era possível, a uma taxa de 1 Kg/ha em concentrações de 10 ppm aplicada na água de rega, reduzindo a taxa de erosão em 97%. McCutchan *et al.*, 1993 (citados por Lentz e Sojka, 1996) publicaram resultados semelhantes, utilizando PAM com concentrações de 2.5 ppm, aplicado ao longo de todo o período de rega. Trout *et al.*, (1993); Sojka e Lentz, (1993); Trout e Lentz, (1993); Lentz e Sojka (1994) e Trout *et al.*, (1995), também apresentaram provas da eficácia de PAM na redução da erosão resultante da rega por sulcos (Mitchell *et al.*, 1996).

Em estudos realizados de 1991 a 1995 Lentz *et al.*, (1992) e Lentz e Sojka, (1996) desenvolveram e determinaram os melhores métodos de aplicação de PAM na rega, confrontando a aplicação do produto em pó, com a aplicação de PAM em solução na água de rega, assim como a estratégia de aplicação, quando aplicar e durante quanto tempo e o tipo de carga (Lentz *et al.*, 1992; Lentz e Sojka, 1996). Nos resultados obtidos Lentz e Sojka, (1996), constataram que as aplicações a seco ou em solução permitiram um controle da erosão aproximadamente igual. No entanto, quando aplicado em solução na água de rega, os vestígios de PAM na água do final do sulco tendem para zero a uma distancia de 63 a 600 m, enquanto que com PAM

adicionado em grânulos os vestígios permanecem quer na água, quer na entrada do tubo de rega.

Nem o PAM líquido nem o PAM granulado criaram novos agregados, mas os agregados tratados com PAM líquido foram preservados mantendo a sua forma física durante o tempo de aplicação de PAM (Cook e Nelson, 1986).

Em relação às concentrações utilizadas, de acordo com Sojka e Lentz, (1996), os tratamentos mais eficazes verificam-se utilizando uma concentração de 10 ppm no caudal de entrada de água no sulco aplicando a solução durante o período de avanço da água, ou em aplicações com concentrações de 5 ppm durante o avanço da água e reaplicações de PAM de 5 a 15 min episodicamente ao longo da rega. A estratégia de aplicação de 10 ppm provou ser efectiva mesmo em sulcos com declives superiores a 3.5%. A densidade de carga da poliacrilamida aniónica usada era de carga e densidade moderadas, 8 a 35%, (Sojka e Lentz, 1996). Khamraev *et al.*, (1983), verificaram que a fixação da argila era mais facilmente atingida quando as cargas aniónicas são de 30% (citados por Roa, 1996).

Nos ensaios realizados com PAM aniónica, Sojka e Lentz, (1996), concluíram que a eficácia do tratamento varia com a concentração de PAM na água de rega, com a duração de exposição do sulco e com o total de PAM aplicado. Duplicando os caudais de entrada a perda de solo triplicou, nos sulcos não tratados, mas não alterou de forma apreciável a eficácia de PAM no controle da erosão. Esta constatação proporciona uma nova opção na gestão da rega efectuada pelos agricultores, podendo aumentar os caudais, permitindo-lhes maior uniformidade nas aplicações de água.

A aplicação de PAM aniónica na água de rega tem sido não só particularmente utilizada para a redução da erosão mas também no aumento da infiltração do solo. Lentz e Sojka, (1996), concluíram que taxas de aplicação de 0.7 Kg/ha ou mais elevadas, com concentração de 10 ppm, aumentavam a infiltração em 15%. Aplicações inferiores a 0.7 Kg/ha também deram resultados positivos mas o aumento verificado foi de apenas 11% na infiltração relativamente ao controle.

A provável justificação para o aumento da infiltração com a aplicação de PAM é a reduzida formação da crosta de deposição que resulta da redução da erosão e do movimento de sedimentos. Segeren e Trout, (1991) e Trout, (1990), mostraram que nos solos argilo-limosos estudados a formação de crostas de deposição reduziu a infiltração em 50% (citado em Trout, *et al.*, 1995).

Trout *et al.*, (1995), verificaram um aumento de infiltração acumulada de 30 a 110% durante oito horas de tratamento com PAM na rega por sulcos, observando que a elevada taxa de infiltração estava associada a uma baixa concentração de sedimentos na água do sulco. Contudo, o aumento da infiltração pode levar à lavagem de sais e a perdas químicas se a água não for controlada adequadamente. Trout, *et al.*, (1995), constataram, medindo o movimento de sedimentos e infiltração num sulco infiltrómetro de retorno, que a aplicação de 0.7 Kg/ha/regagem de PAM (Superfloc A-836) com a concentração de 10 ppm na água de regagem reduziu a erosão dos sulcos em 85 a 99% e aumentou a infiltração média em 30%. No entanto, verificaram que a contínua aplicação de PAM usada resultou numa eficácia menor (60% de redução dos sedimentos) mesmo contabilizando o total de aplicações a redução obtida foi semelhante à dos restantes ensaios.

Estes resultados confirmam os estudos de campo nos quais um dos grandes benefícios é que a aplicação seja feita apenas no período de avanço da água no sulco. Uma relação inversa entre a concentração de sedimentos no escoamento e a infiltração acumulada é, segundo Trout *et al.*, (1995) evidente. Semelhantes relações foram encontradas entre a taxa de infiltração final e a concentração de sedimentos (Trout, *et al.*, 1995).

Esta relação entre a infiltração e a concentração de sedimentos no escoamento indica que o efeito do PAM na infiltração é provocado indirectamente, ou seja, pelo seu efeito no movimento e deposição dos sedimentos, do que qualquer outro efeito no solo ou na água.

Sojka e Lentz, (1994) também observaram que, mesmo quando as crostas de superfície eram visíveis e evidentes nos sulcos tratados com PAM, o tratamento aparentemente resultou numa crosta mais permeável porque a infiltração final era mais elevada nos sulcos com tratamento (citados por Trout, *et al.*, 1995).

A influência de PAM na infiltração depende do seu efeito nas crostas de deposição. Solos com inerente baixa permeabilidade (texturas finas ou com camada subsuperficial de baixa permeabilidade), ou solos sem partículas finas para criar crosta podem não ser afectados pelas aplicações de PAM (Trout, *et al.*, 1995). Eisenhauer *et al.*, (1992), usando medições de laboratório da permeabilidade da crosta e um modelo de infiltração nos sulcos, mostraram que para alguns solos, crostas superficiais transitórias podem ter pequenos efeitos na infiltração acumulada. Num estudo de Mitchell, (1986), num solo argilo-limoso, apesar do PAM ter aumentado a

infiltração inicial, não afectou a infiltração acumulada ou a taxa de infiltração final (citado por Trout, *et al.*, 1995).

Trout, (1992), mediu infiltrações mais elevadas que o esperado nas porções finais dos sulcos. A importância do processo de deposição na distribuição da água depende da erosividade do escoamento, da erodibilidade do solo e da permeabilidade da crosta de deposição relacionada com a permeabilidade das camadas subjacentes.

Em estudos realizados, Brown *et al.*, (1988), verificaram que sedimentos finos adsorvidos no perímetro molhado do sulco reduzem a infiltração e aumentam a tensão superficial da água que é o primeiro mecanismo para reter os sedimentos no perímetro. O que origina a formação de uma pequena crosta e portanto a redução da erosão e absorção de água. Em contraste a remoção de alguns centímetros quadrados desta crosta por aumento do caudal e forças de corte, reduzia geralmente a tensão da água.

O uso de PAM para diminuir a erosão deverá também reduzir os efeitos da erosão, deposição e formação de crostas não-uniformes na uniformidade da infiltração (Trout, *et al.*, 1995). As técnicas de aplicação de PAM e a sua mobilidade no solo foi estudada por Nadler *et al.*, (1994) (citados por Mitchell *et al.*, 1996), considerando a adsorção o factor chave para a retenção de PAM à superfície. Verificaram também que o teor de sais da solução reduzia a viscosidade.

Bicerano, (1994), descreveu algumas propriedades chave dos PAM no controle da erosão da rega, tais como, a solubilidade da água, a capacidade de absorção da água, propriedades de dissolução da solução e a estabilidade em condições ambientais pré-estabelecidas (Mitchell *et al.*, 1996). A aplicação de PAM mostrou ser um excelente processo para impedir a erosão na rega por sulcos. É uma tecnologia segura quando usada nas taxas aplicadas neste estudo, e reduz tanto os sedimentos como a carga química escoada.

Os resultados de um estudo conduzido por Chamberlain e Role, (1996), num solo pouco estruturado sugere que mesmo após vigorosa agitação, a destruição total dos agregados é improvável. Em poucas aplicações da solução do polímero, mesmo com pequenas concentrações (0.01-0.1ppm), a estabilidade dos agregados é aumentada significativamente. A velocidade com que o polímero se liga à superfície do solo, mesmo com uma diluição muito fraca sugere que um mecanismo de “reparação”, para a estabilização de superfícies do solo que são expostas é um factor chave no processo de estabilização dos agregados. Este mecanismo é consistente com

a observação de Lentz e Sojka, (1994) com uma dose inicial elevada (10 ppm) de PAM, durante um ou dois tempos de avanço são mais eficazes que doses de 0.25 ppm aplicadas durante toda a rega. A elevada dose inicial parece proteger as superfícies existentes do solo, juntamente com as geradas pela erosão e facilmente destacadas em regas prévias (citados por Chamberlain e Cole, 1996).

#### 2.5.2.1 Interações e adsorção nas ligações solo-polímero

Os polímeros sintéticos permitem a estabilização dos agregados do solo. A capacidade de compreender e prever as propriedades físicas dos polímeros é importante no esforço de tentar reduzir a erosão com a aplicação de polímeros em zonas de regadio. Os métodos usados para prever as propriedades dos polímeros incluem relações quantitativas das relações estruturais, teorias estatísticas mecânicas, particularmente usadas em solubilidade e miscibilidade, assim como, todas as propriedades que dependem da conformação da cadeia, simulações atômicas, e cálculos de mecânica quântica, usados explicitamente em modelação de polimerização e degradação das ligações químicas. Actualmente, um novo método, baseado apenas em descrições topológicas, chamado índices de conectividade, prevê propriedades físicas chave dos polímeros, muito rapidamente através das unidades repetidas de estrutura do polímero empiricamente e semi-empiricamente. Este novo método pode ser usado para avaliar a capacidade de um polímero na redução da erosão (Bicerano, 1994).

As propriedades chave de um polímero aplicado para a redução da erosão são sobretudo, a sua solubilidade na água e capacidade de absorção pela água, que dependem da polaridade e da estrutura polimérica, onde as ligações de hidrogénio e polares são cruciais (Bicerano, 1994).

O impacto dos polímeros nas propriedades físicas do solo considerava-se inicialmente serem função da sua adsorção e desadsorção pelo material de solo (Letey, 1994). A limitação de técnicas analíticas para medir a concentração de polímero na solução influenciou as investigações feitas inicialmente na adsorção dos polímeros. Durante algumas das investigações realizadas, a medição da adsorção era feita com minerais de argila desprovidos de polímeros naturais. Este procedimento minimizou

as dificuldades analíticas associadas a baixas concentrações. Estudos com argilas foram mais tarde motivados pela consideração de que as argilas eram a fracção reactiva do solo e que a adsorção do polímero pelos minerais de argila representava com precisão a adsorção do solo.

As características mais importantes verificadas nos polímeros que afectam a adsorção são o tamanho molecular, a conformação molecular e a carga electrostática. Em suma a superfície da área externa, a estrutura, a distribuição do tamanho dos poros nas argilas (tactóides e quasicristais) e o tipo de argila, podem afectar a adsorção dos polímeros. A composição electrolítica e a concentração na solução também afectam a adsorção (Letey, 1994). Geralmente a adsorção aumenta com o aumento do peso molecular. A adsorção de polímeros de elevado peso molecular ocorre essencialmente em superfícies externas da argila (tactóides e quasicristais). A estrutura dos microagregados (floculos) que as argilas formam na presença do polímero ou electrólitos, e o tamanho e distribuição dos poros nestes microagregados, têm um efeito dominante na adsorção de polímeros (Ben-Hur *et al.*, (1992); Chenu *et al.*, (1987), citados por Letey, 1994).

A presença de electrólitos em solução afecta a adsorção de polímeros carregados. Aumentos da concentração de electrólitos decrescem a adsorção de polímeros catiónicos devido à competição entre os catiões inorgânicos e os polímeros para os mesmos sítios carregados negativamente das argilas. O aumento da concentração de electrólitos resulta numa compressão da dupla camada difusa da superfície da argila e portanto, o aumento da neutralização dos polímeros carregados anionicamente e consequentemente a adsorção destes polímeros aumenta com o aumento da concentração electrolítica. Catiões divalentes também promovem a ligação entre os polímeros carregados negativamente e as argilas (Letey, 1994).

A adsorção de PAM com minerais de argila varia com o tipo de mineral de argila, carga, densidade e com o tipo de polímero. À medida que a densidade de carga catiónica dos polímeros aumenta, a adsorção com montemorilonite aumenta; mas, à medida que a carga aniónica aumenta, a adsorção com montemorilonite decresce (Aly e Letey, (1988), citados por Lentz e Sojka, 1996).

A interacção entre os polímeros neutros com a superfície é principalmente realizada por ligações de hidrogénio (por exemplo entre os grupos hidróxido do polímero e os oxigénios dos silicatos da superfície da argila) e através de várias

interacções dipolo-dipolo ou carga-dipolo (Chenu *et al.*, (1987); Theng (1982), citados por Ben-Hur *et al.*, 1992).

A adsorção dos polímeros aniónicos é baixa porque tendem a ser repelidos pelas superfícies de argila em suspensão, contudo nalguns casos acontecia, quando por exemplo a concentração de electrólitos era elevada ou quando policatiões estavam presentes na superfície da argila (Theng, (1982), citados por Ben-Hur *et al.*, 1992). Estes policatiões podem agir como agentes de ligação entre o grupo aniónico do polímero e a superfície da argila carregada negativamente (Theng, 1982). Podem também possivelmente ser adsorvidos por pontas soltas das argilas, por atracção entre os grupos negativos do polímero e as cargas positivas dos iões de alumínio, normalmente expostos nas pontas soltas (Greenland, (1972), citados por Ben-Hur *et al.*, 1992).

A relação entre as características de adsorção do polímero e a sua capacidade de flocular o solo não era inteiramente clara. O processo de ligação entre PAM aniónica e a dupla camada difusa das argilas, permanecia por resolver. Segundo Roa, (1996), os polímeros aniónicos podem-se ligar às argilas carregadas negativamente se um agente de ligação como o cálcio estiver presente. Wallace e Wallace, (1996), constataram que o cálcio, o gesso e outras fontes servem de agentes de ligação entre PAM aniónica e a argila (Shainberg e Letey (1984), Shainberg *et al.*, (1989), Sumner e Miller, (1992), citados por Wallace e Wallace, 1996). Contudo, a absoluta necessidade de cálcio, como agente de ligação não ficou provada nos testes realizados verificando-se que a ligação do cálcio com os grupos aniónicos não era o principal factor da floculação com PAM; a ligação pelos grupos de amida era talvez a mais importante (Wallace e Wallace, 1996).

Em ensaios realizados por Letey, (1994), a adsorção aniónica foi muito mais elevada que a cationica, em contraste, com os resultados obtidos na adsorção destes dois polímeros em minerais de argila (Aly e Letey, (1988); Ben-Hur *et al.*, (1992)). Para explicar o comportamento da adsorção no solo, foi postulado que os polímeros não penetram os agregados. Sem penetração nos agregados, a interacção com a fracção de argila seria mínima. Isto indica claramente a inutilidade de medições de adsorção em minerais de argila para a previsão do comportamento de polímeros sintéticos e da sua interacção com o solo. Contudo, este testemunho poderá não ser válido para polímeros naturais que possam ser sintetizados no próprio solo (Letey, 1994).

As cargas electrostáticas dos polímeros parecem então, ser negligíveis no processo de adsorção no entanto, espera-se existirem diferenças entre o tamanho molecular e a conformação (Letey, 1994). A teoria da ligação química propõe que polímeros de longas cadeias com grupos ionizáveis se podem ligar à superfície coloidal das partículas em um ou mais sítios de adsorção. Devido ao seu comprimento o polielectrolito extender-se-à para além da camada difusa na solução. Esta extensão pode depois ligar-se a sítios não ocupados de adsorção em outras partículas coloidais causando floculação (Tapp *et al.*, 1981, citados por Lentz e Sojka, 1996).

Polímeros de elevado peso molecular não penetram nos agregados de solo e por isso a adsorção está relacionada com o tamanho do agregado de solo e a conformação molecular do polímero e não com a superfície de área total do solo e interações electrostáticas (Letey, 1994). A sua conformação molecular, isto é, a sua forma e volume físico, é uma característica importante quando dissolvido, porque determina parcialmente a sua interacção com o solo. A adsorção de moléculas de PAM tendo formas compactas em solução aquosa é maior do que para moléculas largas e mais densas (Lakatos *et al.*, (1981), citados por Lentz e Sojka, 1996).

O tipo de carga do PAM pode afectar a sua conformação na adsorção, os PAM cationicos adoptam uma configuração plana nas partículas predominantemente negativas do solo, enquanto que as PAM aniónicas são menos estritamente ligadas às partículas da superfície do solo e as cadeias da molécula não estão ligadas entre si, encontram-se projectadas no solvente (Lyklema e Gleer, (1987), citados por Lentz e Sojka, 1996). A presença de polímero com partes da molécula projectadas no solvente, aumenta a oportunidade de ligação entre as partículas de solo tratadas (Gregory, (1989), citado por Lentz e Sojka, 1996).

A conformação do polímero é assim um dos factores mais importantes no processo de ligação entre as partículas. Em ensaios realizados, a adsorção de polímeros em areia quartzítica foi comparável à obtida em materiais do solo. A superfície de área total da areia é muito mais pequena que a superfície de área total dos materiais de solo e mais proximamente representam a superfície externa dos agregados. As partículas de solo não carregadas, como os grãos de quartzo da areia, têm algumas afinidades com os polímeros. O processo envolve forças de Van der Waals e entropia negativa que aumenta com o aumento do peso molecular. Contudo as ligações podem ser reforçadas na presença de um metal polivalente. O processo é chamado activação da superfície neutra (De Boodt, 1993).

As influências da forma, podem depois ser modificadas por interações específicas entre a partícula de solo/polímero ou polímero/solvente. Por exemplo, aumentando a concentração de sal no solvente (a água provoca uma contracção nas moléculas carregadas de PAM, no entanto, as moléculas neutras de PAM não são afectadas (Tam e Tiu, (1993), citados por Lentz e Sojka, 1996).

O peso molecular do PAM influencia também o processo de adsorção e floculação. Em geral, à medida que o peso molecular aumenta, a adsorção do polímero aumenta (Lee e Somasundaran, (1989) citados por Lentz e Sojka, 1996). A relação entre o peso molecular para o qual a floculação ocorre, depende do polímero e do adsorvente (LaMer e Healy, 1963); contudo, a actividade do polímero geralmente aumenta com o aumento do peso molecular (Lentz e Sojka, 1996).

#### 2.5.2.2 Influência da conformação e tamanho molecular das PAM no controle da erosão e infiltração

Lentz e Sojka, (1996), testaram a hipótese da conformação do PAM, o tipo de carga, densidade e peso molecular, influenciarem a capacidade do PAM na redução da erosão e na manutenção da infiltração durante o processo da rega. Constatando que, apesar do PAM de elevado peso molecular permitir uma redução da perda de solo semelhante ao PAM de moderado peso molecular, o PAM de elevado peso molecular é mais consistente. O que confirmou que os mecanismos dominantes que providenciam o controle da perda de solo são sensíveis ao tamanho e densidade do PAM dissolvido, e/ou estão correlacionados com uma propriedade como a adsorção. No entanto, constataram que o peso molecular do PAM teve o efeito oposto na infiltração dos sulcos. A taxa de infiltração de PAM de baixo peso molecular excedeu a taxa de infiltração do tratamento com PAM de elevado peso molecular nas repetidas regas, indicando que taxa de infiltração aumenta com o decréscimo do peso molecular do PAM aplicado (Lentz e Sojka, 1996).

Uma explicação para o efeito do peso molecular de PAM na infiltração é o fenómeno da viscosidade. É sabido que a viscosidade da solução de PAM decresce com o peso molecular. Uma solução de PAM menos viscosa penetraria melhor no

solo do sulco tratado, preservaria melhor a estrutura, e produziria uma melhor interface com o solo. Mas esta explicação também implicaria um melhor controle da perda de solo com PAM de baixo peso molecular. Uma vez que a infiltração nos sulcos é sensível à permeabilidade da crosta de deposição, Lentz e Sojka, (1996), colocaram como hipótese o facto do peso molecular afectar a infiltração devido à sua influência no tamanho, compactação e a coesão dos flocos ou agregados formados no escoamento do sulco. Em 1993, Herrington *et al.*, (1993), constatou que os flocos de caulinite formados com PAM se tornam mais densos e compactos à medida que o peso molecular do PAM aumenta. Flocos mais largos e menos densos são produzidos com PAM de baixo peso molecular, que formariam portanto, segundo Lentz e Sojka, (1996) uma camada deposicional mais porosa e também mais fácil de transportar ao longo do sulco. Em contraste, o PAM de elevado peso molecular produz agregados pequenos e densos que resistem ao transporte, e formam uma crosta com porosidade mais baixa e menor permeabilidade (Lentz e Sojka, 1996).

As aplicações de PAM na água de rega a taxas de 10 ppm não elevam de forma considerável a viscosidade. A viscosidade em aplicações com concentração de 10 ppm não é suficiente para se sobrepor aos aumentos da infiltração no período de avanço que resultam da prevenção da formação de crosta. A formação de crosta nos sulcos controle é um processo rápido (Sojka *et al.*, 1996).

Contudo, o aumento da viscosidade não é necessariamente prejudicial na aplicação em rega por sulcos. Usualmente a taxa de infiltração dos solos é bastante elevada depois do cultivo e um dos problemas com a rega por sulcos é existir uma quantidade significativa de água que se infiltra na primeira parte dos sulcos que limita a chegada de água ao final dos sulcos (Letey, 1996). Aumentar a viscosidade efectiva da água, diminuindo portanto a infiltração, permite um avanço mais rápido da água melhorando assim, a uniformidade da aplicação de água. Baixas taxas de infiltração são normalmente um problema depois da primeira rega devido à camada de baixa permeabilidade depositada no fundo do sulco pelas partículas dispersas do solo. O tratamento com polímero reduz este efeito e portanto, deverá ter um efeito positivo em regas subsequentes. Se as regas subsequentes forem feitas com água não tratada, então o problema da viscosidade, deixa de ser um problema (Letey, 1996).

Portanto, uma estratégia a utilizar é ter a certeza de que o tratamento com polímero feito durante a 1ª rega depois do cultivo é eficaz na floculação e na prevenção da dispersão do solo. Subsequentes regas deverão ser conduzidas com água

não-tratada tomando partido do aumento do tamanho dos poros provocado pelo tratamento inicial de PAM e sem o impacto negativo da viscosidade. O relativo efeito do polímero depende também da susceptibilidade do solo em dispersar em água não tratada, o que depende do tipo de solo e da composição química da água de rega (Letey, 1996).

Lentz e Sojka, 1996, verificaram também que o tipo de carga do polímero não teve influência significativa na redução da perda de solo nos sulcos recém formatados, no entanto, na 1ª rega nos sulcos recém abertos, PAM neutras ou aniônicas foram cerca de 2 vezes mais eficazes na redução da perda de solo que PAM catiónicas.

As PAM aniônicas são as especialmente favorecidas no tratamento de rega por sulcos devido ao seu melhor desempenho e porque são ambientalmente mais seguras que as neutras e as catiónicas (Barvenik, (1994), citado por Lentz e Sojka, 1996).

Diferenças estatísticas entre a densidade de carga das PAM aplicadas nem sempre foram demonstradas, mas aquelas que foram observadas confirmam que o controle da rega com PAM aumenta com o aumento da densidade de carga nos tratamentos com PAM aniônicas e catiónicas (Lentz e Sojka, 1996).

A interacção dos polímeros solúveis em água, com as partículas do solo não cria agregados mas pode estabilizar os agregados existentes se os agregados se encontrarem saturados com a solução. Os agregados que estão estabilizados não reagregam depois de terem sido desfeitos.

Em estudos sobre estabilidade, Nadler *et al.*, (1992), (citados por Letey, 1994), mediram a “desadsorção” (desorption) de poliacrilamidas, e verificou que muito pouca ou mesmo nenhuma “desadsorção” ocorre se o solo se mantiver húmido. Se o solo secar, a maior parte ou o total do polímero inicialmente deixado na solução fica irreversivelmente ligado ao solo. De certa forma o agregado é protegido por uma rede apertada de moléculas adsorvidas. Se o agregado for destruído por energia mecânica, o interior do agregado é então exposto e susceptível à dispersão na água. Portanto, a estabilidade dos agregados é aumentada por secagem do solo e está dependente da rede de moléculas não ser quebrada (Letey, 1994).

### 2.5.3 Considerações ambientais na aplicação de poliacrilamidas aniônicas

O uso de PAM no controle da erosão pode ser uma formidável ferramenta para atingir uma agricultura sustentável, uma vez que proporciona benefícios ambientais, como o controle da perda de sedimentos associados ao escoamento da água de rega, que eventualmente entrariam nos afluentes e reservatórios, contaminando, facilmente os reservatórios de água potável (Agassi *et al.*, (1995); Singh *et al.*, (1996); Bahr *et al.*, (1996); Bahr e Steiber, (1996), citados por Lentz e Sojka, 1996).

A aplicação de PAM na água de rega permite alterações no controle de aplicação de água, uma vez que ao proporcionar um aumento da infiltração é possível, e até mesmo aconselhável aumentar os caudais de entrada durante o período de avanço, o que possibilita melhorar a uniformidade da infiltração ao longo do campo (Lentz e Sojka, 1996).

A regularização, segurança e toxicidade das PAM foram revistos por Seybold, (1994) e Barvenik, (1994). Nas PAM, o monómero de acrilamida (AMD) é a unidade básica ou monómero na produção de polímeros solúveis em água designados genericamente por poliacrilamidas. A fórmula estrutural da AMD é :

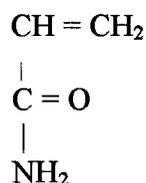


Figura 2.3 Fórmula estrutural do monómero de acrilamida

Segundo Barvenik *et al.*, (1996), a AMD polimeriza com outras moléculas de AMD, ou outros monómeros de vinil, como o ácido acrílico, na presença de radicais livres e ausência de oxigênio. Esta polimerização não reversível pode produzir polímeros com pesos moleculares de  $10^3$  a  $> 10^7$ . Utilizando co-monómeros apropriados com outros reagentes, estes polímeros podem ser catiónicos, aniônicos ou não iônicos.

Os usados no controle da erosão são aniônicos. A produção de poliacrilamida pode resultar de, por exemplo, uma reacção entre AMD e um sal de ácido acrílico:

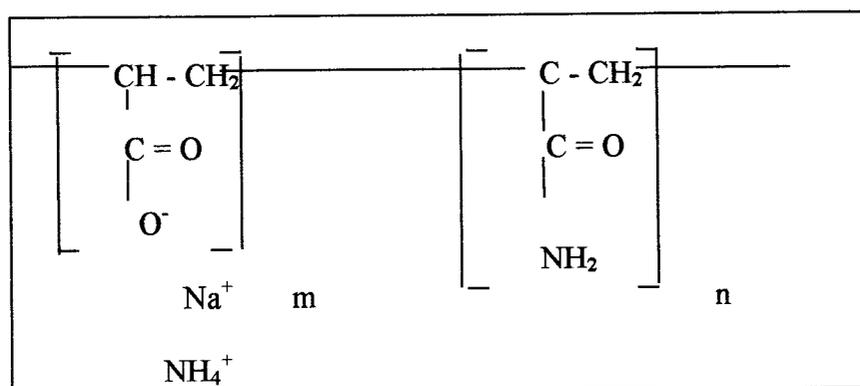


Figura 2.4 Reacção entre a AMD e um sal de ácido de acrílico para a produção de poliacrilamida

Relativamente ao uso de poliacrilamida no controle da erosão os resultados dos testes realizados apontam a poliacrilamida como um produto não tóxico.

O impacte de químicos no ambiente é estudado usando sistemas aquáticos ou sistemas de concentração final (endpoints ambientais). A toxicidade aquática é quantificada pela mortalidade de peixes e outros organismos aquáticos. O LC50 (concentração letal para 50% dos organismos num dado tempo) é uma medida comum. Quanto mais baixo for o LC50 maior a toxicidade (Deskin, 1996). As PAM aniónicas mostraram baixa toxicidade aquática. Os valores de LC<sub>50</sub> para uma variedade de peixes e invertebrados variam entre 56 e 410 ppm, isto é, 4 a 5 ordens de magnitude acima do que resultaria com o uso recomendado de PAM na água de rega (Deskin, 1996).

As PAM exibem também, baixa toxicidade em mamíferos, incluindo elevados valores ingeridos oralmente ou por contactos dérmicos (>5g/kg). Ligeira irritação dérmica e ocular foi observada para doses elevadas. Não foram notados efeitos adversos em estudos crónicos orais em ratos e nenhum composto relacionado com efeitos reprodutivos foram vistos em 3 gerações de ratos. Os estudos epidemiológicos em humanos demonstraram não existir associação entre contacto uni-intencional com PAM e a existência de tumores. A emulsão de PAM provoca ligeiras a graves irritações nos olhos e pele (Deskin, 1996).

É importante denotar a necessidade de utilização de PAM aniónicas no controle da erosão. PAM neutras e especificamente PAM catiónicas demonstraram ter um LC50 suficientemente baixo para determinados organismos aquáticos, ao contrário das PAM aniónicas (Barvenik *et al.*, 1996). As PAM catiónicas quando presentes nos sistemas aquáticos fixam-se à hemoglobina dos peixes impedindo-os de fixar oxigénio. A sufocação ocorre mesmo quando a água contém pequenos níveis de PAM catiónicas. Deve ser notado que quando os PAM são introduzidos nos sistemas aquáticos, contêm sedimentos, ácidos húmicos e outras impurezas e os efeitos dos PAM são prolongados (Buchholz, (1992); Goodrich *et al.*, (1991), citados por Barvenik *et al.*, 1996).

Pôs-se também como eventual problema o facto das PAM serem ou não biodegradáveis, persistentes e degradáveis no ambiente, se a sua degradação possibilitaria a libertação de AMD e ainda se seria possível a bioacumulação nos tecidos das plantas e animais. A biodegradabilidade é definida como a taxa e o grau de degradação química no solo e na água. A persistência é a capacidade do material em existir no ambiente sem mudar. A vida média de um químico no solo é um indicador de persistência (Deskin, 1996).

Barvenik *et al.*, (1996), verificou-se, que a degradação de PAM no solo é antecipada, ou seja, ocorre ao longo do tempo com resultado da degradação química, mecânica e da hidrólise biológica, da degradação pela luz solar, pelos efeitos da temperatura e sal. A degradação do polímero faz-se 10% por ano. A degradação do polímero não liberta AMD. Os PAM são moléculas remarcadamente estáveis e não há evidência na literatura da regeneração do monómero de AMD a partir da degradação do PAM por meio químico ou físico. A regeneração da ligação dupla de AMD não é termodinamicamente plausível. A polimerização é fortemente exotérmica, e tem uma taxa de propagação muito rápida. Nos processos de fabrico modernos o monómero residual de AMD é inferior a 0.1%, ou mais baixo no caso dos PAM utilizados na agricultura no controle da erosão. A depolimerização térmica não ocorre, outras reacções podem acontecer por aquecimento, por exemplo a perda do grupo amónia.

As PAM são produzidas de forma a reduzir o conteúdo em AMD a valores inferiores a 0.05%. Por lei, nos E.U.A os produtos PAM permitidos para o tratamento de água potável podem conter 0.05% de resíduos do monómero de AMD. Na Europa apenas é permitido 0.025%. A maioria dos produtos PAM disponíveis no mercado

raramente contêm mais de 0.1% de AMD (Barvenik *et al.*, 1996), o que os torna seguros para a utilização na água de rega.

Em geral, as taxas de biodegradação nas águas de recepção, aparentam ser lentas em águas oligotróficas, e mais rápidas em águas eutróficas, sedimentos e efluentes de esgotos. A vida média para a AMD parece ir desde dias a semanas. A taxa de biodegradação na água é geralmente mais rápida a temperaturas superiores a 10°C, e significativamente mais rápida em águas oxigenadas, que em águas com condições anaeróbicas (Barvenik *et al.*, 1996).

Apesar do PAM se ligar rápida e irreversivelmente às partículas de solo no processo de floculação, a AMD é muito mais móvel. A adsorção dos resíduos de 0.025%, permitidos na Europa, de AMD pelas partículas de solo é pouco provável, porque a AMD tende a migrar com a água. A AMD é um químico pouco instável, bastante biodegradável no solo e na água. Um composto menos tóxico, como o ácido acrílico, foi demonstrado ser o intermediário. O azoto foi demonstrado ser libertado como amónia pelos enzimas amidase dos micróbios, seguido da nitrificação em condições aeróbicas do solo. É de notar que a AMD decompõe-se rapidamente em sistemas biológicos activos. Numerosas citações deste efeito foram revistas por Barvenik, (1994). Isto sugere que a concentração de AMD será grandemente reduzida nas águas de recepção.

Após a aplicação de poliacrilamida no solo, a deteiorização pela radiação de UV e mecânica são intensivas, uma vez que os microorganismos removem apenas a parte facilmente metabolizada, que são os grupos funcionais de amida, como fontes de azoto. Finalmente, como o grupo funcional de amida é rapidamente metabolizado como fonte de azoto pelo microbiota do solo, as posteriores degradações da molécula de poliacrilamida já não produzem uma renovada fonte de monómeros de acrilamida.

A bioacumulação é definida como a concentração desenvolvida de um determinado material ao longo do tempo. A acrilamida é extremamente solúvel em água. No entanto, os estudos efectuados por Stepens, (1991) indicaram que a AMD não é absorvida pelas plantas. Os PAM são considerados terem tamanhos moleculares muito grandes para serem transportados através das membranas. Não provocam efeitos adversos em plantas, minhocas, nutrientes do solo ou nas bactérias nitrificantes (Barvenik *et al.*, 1996).

PAM de vários tipos químicos e pesos moleculares são empregues numa variedade muito grande de aplicações incluindo águas municipais. A aplicação de

PAM é sobretudo na clarificação da água residual, biossólidos, fabrico de papel, dispersão mineral, processamento de alimentação e alimentação animal, produção de petróleo, aditivos do solo, cosméticos, redução da fricção, viscosificação, produção têxtil, adesivos e aplicações de laboratório (Barvenik (1994); Lipp e Kozakiewicz (1991); Mortimer (1991); Thomas e Wang (1985), citados Barvenik *et al.*, 1996).

De particular interesse é o largo uso de PAM na purificação da água potável (através de certas espécies vegetais). PAM funciona como ajuda no processo de floculação e na remoção de partículas contaminantes incluindo microorganismos patogénicos (Barvenik *et al.*, 1996).

As aplicações de PAM são métodos de controle de erosão na rega por sulcos, eficientes e económicos e ambientalmente seguros, dentro do quadro de aplicações estabelecidos.

***Capítulo 3***  
***Materiais e métodos***

### **3. Materiais e métodos**

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho experimental em que se baseou este estudo. Os materiais utilizados compreendem o equipamento necessário à monitorização da infiltração e ao controle da erosão com aplicação de poliacrilamidas aniónicas. Os ensaios de rega destinaram-se à calibração de materiais e métodos utilizados na monitorização da perda de sedimentos, como os cones de Imhoff, e à obtenção de resultados de erosão, transporte de sedimentos, diferenças granulométricas, forma dos perfis e infiltração ao longo dos sulcos. Os trabalhos experimentais decorreram de Julho a Outubro de 1997.

#### **3.1 Localização e caracterização do local de ensaios**

Este ensaio foi realizado em duas parcelas da Herdade do Cabido, situadas a 5 km de Arraiolos no distrito de Évora, na estrada que liga Arraiolos à aldeia da Igrejinha, que se encontra inserida no perímetro de rega do Divor. A Universidade de Évora dispõem desde há alguns anos de um protocolo de cooperação com o órgão gestor desta Cooperativa Agrícola do Cabido e Anexas, o que tem permitido a realização de vários trabalhos experimentais em rega de superfície. As parcelas onde foi executado este trabalho, foram objecto de trabalhos em anos anteriores e trabalhos realizados em paralelo, existindo por isso alguma informação de caracterização disponível.

##### ***3.1.1 Caracterização hidropedológica***

O ensaio foi realizado em solos classificados como pertencentes a uma família do grupo dos solos Mediterrâneos Pardos de materiais não calcários, Subgrupo Normais de Quartzodioritos. Estes solos estão incluídos na Ordem dos solos Argiluvitados pouco insaturados, sub-ordem dos Mediterrâneos Pardos. Na classificação Americana são designados como “Ustalfs” Normustalfs” e Vertustalfs”.

São solos cujo principal processo pedogenético é a argiluviação e caracterizam-se pela presença de um horizonte A de textura arenosa ligeira, com transição nítida e abrupta para uma textura pesada que caracteriza o horizonte B “textural”, resultante da

alteração do tipo de argila. O horizonte B “textural” deste tipo de solos comporta-se como uma camada pouco permeável, do que resulta portanto, um horizonte A, permeável, onde a infiltração é rápida e um horizonte B onde a permeabilidade é francamente reduzida e conseqüentemente a infiltração verifica-se quase exclusivamente na horizontal.

Estes solos apresentam uma capacidade de troca catiónica muito variável, que acompanha a distribuição da argila. Nos horizontes superiores é baixa ou mediana e mediana nos horizontes de acumulação (Cardoso, 1965). O grau de saturação é muito elevado, frequentemente superior a 75% (Cardoso, 1965). O pH varia, com a presença ou não de carbonatos, mas é geralmente neutro. A capacidade de campo apresenta valores moderados ou elevados e a capacidade utilizável é baixa nos horizontes superficiais e mediana nos inferiores. A permeabilidade destes solos é lenta. Quanto à expansibilidade, é baixa podendo mesmo ser nula, e predomina no horizonte de acumulação de ilite, com alguma percentagem de montmorilonite.

Nos quadros que se seguem apresentam-se os valores analíticos que caracterizam o campo, obtidos num estudo realizado no mesmo local.

	<b>Profundidade (cm)</b>	
	0-10 (cm)	10-20 (cm)
Ca <sup>2+</sup> (meq/100g)	2.47	2.32
Mg <sup>2+</sup> (meq/100g)	2.13	2.10
Na <sup>+</sup> (meq/100g)	0.23	0.21
K <sup>+</sup> (meq/100g)	0.16	0.15
S (meq/100g)	4.99	4.75
T (meq/100g)	8.02	7.56
V (%)	62.53	63.36

Ramos, 1995

Quadro 3.1 Caracterização do complexo de troca

Na análise do quadro 3.1, referentes aos valores do complexo de troca, é possível constatar que o cálcio é o catião dominante, apesar de diferir apenas ligeiramente dos valores de magnésio. A quantidade de sódio de troca não parece revelar problemas de sodização.

Nas análises granulométricas e texturais é visível o aumento do teor de argila em profundidade, confirmando assim, o processo pedogenético.

<b>Granulometria (%)</b>	<b>Profundidade (cm)</b>				
	<b>0-10</b>	<b>10-20</b>	<b>20-40</b>	<b>40-50</b>	<b>50-60</b>
<i>Areia grossa (%)</i>	42.2	42.0	40.9	35.9	39.6
<i>Areia fina (%)</i>	36.5	36.3	34.8	30.0	25.4
<i>Limo (%)</i>	9.4	10.0	10.0	11.7	11.6
<i>Argila (%)</i>	11.9	11.7	14.3	22.4	23.4
<i>Classe Textural</i>	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco argilo arenosa	Franco argilo arenosa	Franco argilo arenosa

Ramos, 1995

Quadro 3.2 Análise granulométrica e classificação textural

A densidade aparente foi obtida num estudo realizado por Matos, (1998), no mesmo local e na mesma altura. Pode-se constatar que a densidade aparente apresenta valores mais elevados que os analisados por Ramos, (1995), e por Costa, (1985), para este tipo de solo argiluvado.

<b>Prof. (cm)</b>	<b>0-15</b>	<b>15-30</b>	<b>30-45</b>	<b>45-60</b>	<b>60-75</b>
<i>Dap</i>	1.62	1.81	1.79	1.70	1.70

Matos, 1998

Quadro 3.3 Densidade aparente do solo

### 3.2 Delineamento experimental e instalação do ensaio

Este estudo tem por base o trabalho experimental realizado em duas parcelas, com o objectivo de caracterizar a erosão e a infiltração num solo argiluvado com aplicação de poliacrilamidas aniónicas. Uma parcela foi organizada em terraços de contorno, pela Universidade de Évora, tendo por objectivo a realização de vários trabalhos experimentais de investigação em rega de superfície. A segunda parcela, representa bem as características de relevo ondulado e suave, comuns nos regadios do

Com este ensaio em duas parcelas, pretende-se caracterizar o controle proporcionado pela aplicação de PAM na perda de solo ao longo dos sulcos, erosão e infiltração, num bloco de rega tradicional com sulcos retilíneos declivosos, e o verificado em terraços de contorno.

### ***3.2.1 Bloco de Contorno***

O terreno dos blocos de contorno foi alvo de um levantamento e nivelamento topográfico detalhado por emissores laser para um declive de 0.2%, realizado à escala 1/1000. Os blocos foram marcados com estacas e os sulcos abertos com um derregador, distanciados de 1.5 m e com profundidade de 10 a 20 cm nos quais foi cultivado milho (*Zea mays*) a 2 de Maio de 1997.

Os sulcos tinham comprimentos de 125 a 220 m nos quais se instalou o sistema cabo-rega automatizado. Este sistema consiste na instalação de um tubo de rega em PVC janelado, onde se desloca um êmbolo automatizado. O cabo rega é um sistema adequado à rega em parcelas de contorno em terreno ondulado. O escoamento no tubo é normal em superfície livre excepto na zona de serviço, a montante do embolo, onde se acumula água e pressão fazendo debitar os orifícios com caudal decrescente do êmbolo para montante, de acordo com a variação de carga, no mesmo sentido (Serralheiro, 1996). A automatização consiste na adaptação, em tempo real, da velocidade do êmbolo às condições da rega em curso. A variação da velocidade do êmbolo é necessária para, em cada sulco ou bloco de sulcos, adequar o tempo de alimentação à combinação do caudal, comprimento do sulco e características de infiltração. A variação da velocidade é possível através de um controlador electrónico. O número de janelas abertas em simultâneo, o caudal máximo pretendido e a sua variação ao longo da rega foram controlados pelo programa Cabo-Gest desenvolvido por Shahidian, (1996). Este sistema tem portanto, a particularidade de desenvolver caudais de entrada decrescentes entre as janelas abertas em simultâneo e ao longo da rega.

O ensaio foi instalado em 4 sulcos de 220 m, [SCp-24, SCp-26, SCc-27 e SCp28] e em 4 sulcos de 160 m, [SCc-44, SCp-46, SCp-48 e SCp-50]. Dos 4 sulcos utilizados em cada comprimento, 3 são de tratamento com PAM, designados por SCp

(sulcos de contorno PAM) e um de controle, designados por SCc (sulcos de contorno controle).

Os caudais de entrada nos sulcos de 220 m variaram entre 2.7 l/s a 0.64 l/s e nos sulcos de 160 m oscilaram entre 2.9 l/s e 0.73 l/s, entre a primeira e a última rega controlada.

Os sulcos seleccionados para o ensaio foram divididos em três partes, de forma a que fosse possível determinar a distribuição da perda de solo ao longo do sulco, a 20 m, no meio e fim do sulco. A divisão dos sulcos em três partes não foi equitativa, para as 3 secções. O início do sulco foi sempre considerado como uma secção de 20 m de comprimento, de forma a que fosse possível controlar o débito de entrada de PAM de acordo com o caudal, e verificar se os contentores de injeção de PAM se mantinham, a aproximadamente carga constante. As restantes secções correspondem efectivamente ao meio (2/3) e fim (3/3) dos sulcos.

A aplicação de PAM nos sulcos com 220 m e 160 m de comprimento, processou-se ao longo de 5 regas.

### ***3.2.2 Bloco tradicional com sulcos rectilíneos declivosos***

No bloco de mobilização tradicional, foi realizado o levantamento topográfico à escala 1/1000. Os sulcos foram abertos com o derregador, distanciados de 0.75 m, e com profundidade de 10 a 20 cm com 140 m de comprimento e declive médio de 1.6%.

A rega foi feita com tubo de PVC janelado com caudal constante, controlado pela abertura da janela, de 1.7 l/s durante a aplicação de PAM e de 0.23 l/s nas seguintes 12 horas.

Neste ensaio utilizaram-se 3 sulcos tratados, designados por SDp-6, SDp-7 e SDp-10, (sulcos declivosos PAM) e 1 sulco controle, designado por SDc-3 (sulco declivoso controle). ~~Á semelhança dos sulcos no ensaio em terraços de contorno~~, os sulcos foram divididos em três partes, de forma a que fosse possível determinar a perda de solo a 20 m, no meio e fim do sulco. A divisão dos sulcos em três partes não foi equitativa, para as 3 secções, como já foi referido anteriormente.

Nos ensaios dos blocos com mobilização tradicional a aplicação de PAM foi realizada em 3 regas.

### 3.3 Preparação e Aplicação de PAM

Nos ensaios realizados, a poliacrilamida aniónica (PAM) foi utilizada na forma granular, fabricada pelas indústrias CYTEC. As características relevantes a assinalar neste produto, patenteado nos E.U.A. pela Cyanamid Company, sob o nome de Superfloc 836-A, são o seu elevado peso molecular, de 12-15 mg/mol e a hidrólise de 20%. O “Superfloc 836-A” é um material branco, granulado, com o tamanho de cristais ligeiramente superiores ao sal comum.

A poliacrilamida aniónica (PAM) foi dissolvida em água para a preparação de soluções de armazenamento com concentração 3000 g/m<sup>3</sup>. A quantidade de água requerida para a preparação da solução é, portanto, de 1l para cada 3g de PAM. A solução de armazenamento foi preparada para obter a concentração de 3000 g/m<sup>3</sup>, no entanto, como a poliacrilamida se encontra hidrolisada a 20%, a concentração activa na solução preparada é de 2400 g/m<sup>3</sup>. A preparação da solução exigiu que a introdução dos grânulos de PAM fosse feita lentamente, na quantidade de água desejada, a qual teve de ser vigorosamente agitada por uma hélice motorizada, devido à elevada viscosidade da solução formada e para que o PAM dispersasse na água. Após a introdução de PAM, a solução permaneceu sob a agitação proporcionada pela hélice durante pelo menos mais 20 minutos.

A solução preparada ficou armazenada durante pelo menos um dia ou dois para que o PAM pudesse dispersar completamente. A água utilizada para as soluções de armazenamento, foi a água canalizada, do laboratório de hidrologia da Universidade de Évora, com uma CE = 298 µS/cm e pH = 7.48.

O tratamento da água de rega foi efectuado com aplicação de PAM nos sulcos a uma concentração de aproximadamente 10 g/m<sup>3</sup>. O cálculo da taxa de aplicação de PAM nos sulcos, necessária à obtenção da concentração de 10 g/m<sup>3</sup> na água de rega obteve-se utilizando a expressão:

$$PAM_{inj} \text{ (ml/min)} = [Q_e \text{ (l/min)} \times CT_{PAM} \text{ (g/m}^3\text{)}] / CAS_{PAM} \text{ (g/m}^3\text{)} \quad (3.1)$$

onde, PAM<sub>inj</sub> é a taxa de aplicação de PAM nos sulcos, Q<sub>e</sub> é o caudal de entrada, CT<sub>PAM</sub> é a concentração de PAM desejada no tratamento da água de rega e CAS<sub>PAM</sub> é a concentração activa de PAM na solução de armazenamento. A aplicação de PAM na

água de rega, dos sulcos tratados, foi efectuada utilizando um contentor com 220 l de capacidade, ligado por tubos de PVC a três pequenos contentores de 30 l de capacidade, como se pode observar de forma esquemática na figura 3.2.

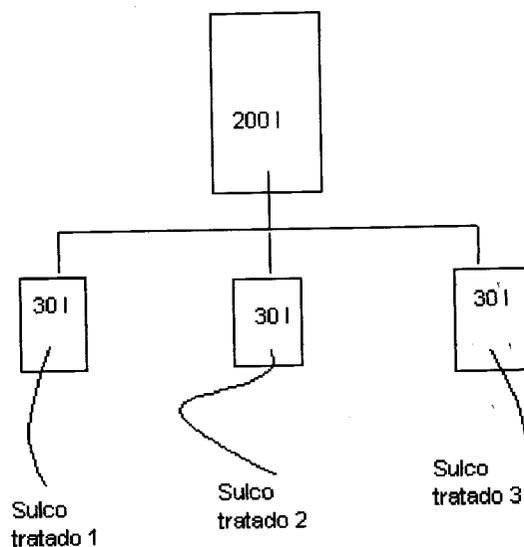


Figura 3.2 Representação esquemática da aplicação de PAM na água de rega

Os pequenos contentores e os respectivos tubos de PVC distanciam-se entre si, de acordo com a distância entre os sulcos. O contentor de 220 l, permitiu o abastecimento contínuo de PAM aos três contentores de 30 l, de forma a manter carga constante.

Aos três contentores de 30 l foram adaptadas torneiras calibradas em laboratório para que fosse possível adequar o débito de PAM nos sulcos ao caudal. Às torneiras, por sua vez, foram acopladas mangueiras de pequena diâmetro, de forma a dirigir a saída de PAM para a zona de saída de água com maior turbulência, possibilitando uma rápida mistura de PAM na água de rega ao longo do sulco.

### 3.3.1 Aplicação de PAM nos sulcos de contorno

Os caudais de entrada e a velocidade do êmbolo ao longo da rega e para cada rega, nos sulcos de contorno, foram obtidos através das estimativas fornecidas pelo programa cabo-gest e pelas medições de caudal realizadas antes do êmbolo atingir os blocos do ensaio. Este procedimento permitiu assim, adaptar a taxa de injeção de PAM, através abertura da torneira dos contentores de 30 l, aos caudais verificados periodicamente ao longo da rega e para cada rega (ver anexos A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>).

Na figura 3.3 é possível constatar a aplicação de PAM nos sulcos de contorno, com os contentores representados anteriormente na figura 3.2.

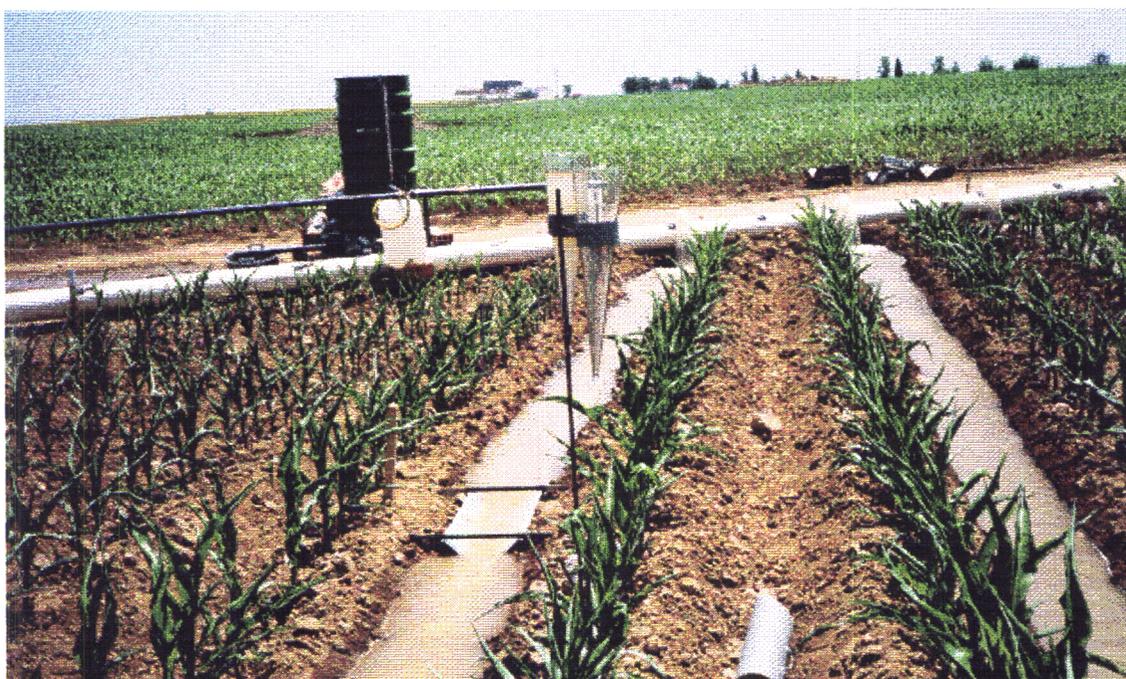


Figura 3.3 Aplicação de PAM nos sulcos tratados do bloco de contorno

O tratamento com PAM foi realizado ao longo de 5 regas com a aplicação total de 2.283 kg/ha nos sulcos de 220 m e com 2.616 kg/ha nos sulcos de 160 m. Se considerarmos todo o período de rega, neste caso de 30 regas efectuadas, a aplicação de PAM foi de 0.380 kg/ha/época nos sulcos de 220 m e de 0.436 kg/ha/época nos sulcos de 160 m (ver anexo A<sub>4</sub>).

### **3.3.2 Aplicação de PAM nos sulcos rectilíneos declivosos**

No bloco de mobilização tradicional, o caudal era constante, no entanto a monitorização foi necessária, uma vez que quando mais blocos eram regados em simultâneo a pressão diminuía no tubo janelado, diminuindo o caudal. A manutenção do caudal de 1.7 l/s foi sendo controlada pela abertura das janelas do tubo. Em relação à injeção de PAM na água de rega, a monitorização dos contentores foi também sempre necessária, de forma a verificar se a carga se mantinha constante, em cada um deles.

A taxa de injeção de PAM nos sulcos foi calculada, tal como nos sulcos de contorno, através da equação 3.1 (ver Anexo A<sub>3</sub>). O tratamento de PAM foi realizado durante 3 regas com a aplicação total de 7.286 kg/ha. Por época, tal como no bloco de contorno, foram realizadas 30 regas, o que leva a um total de PAM aplicado de 0.729 kg/ha/época (ver anexo A<sub>4</sub>).

### **3.4 Determinação da erosão nos sulcos**

Para calcular a erosão verificada em ambos blocos, nos sulcos tratados e nos sulcos utilizados como controle, foi necessário a utilização de um sistema que permitisse quantificar periodicamente ao longo da rega, a massa de sedimentos no escoamento. Para tal é necessário saber o volume de sedimentos no escoamento, contidos no volume de água do escoamento à saída dos sulcos num determinado intervalo de tempo.

O volume de sedimentos contido no escoamento à saída dos sulcos foi determinado com a utilização de cones de Imhoff. Estes cones graduados em ml, com o volume total de 1 l, que foram instalados em suportes com 1.20 m de altura nos camalhões da extremidade dos sulcos, permitindo, após 0.5 hora da recolha efectuada no escoamento, a leitura do volume de sedimentos, (em ml/l), no escoamento correspondente a um determinado intervalo de tempo. A conversão do volume de sedimentos arrastados, em ml/l, para massa de sedimentos no escoamento, g/l, é realizada através da equação obtida na calibração dos cones de Imhoff para o solo em causa. A equação obtida na calibração é uma equação do tipo descrito no capítulo 2, e numerada como (2.2), ou seja,

armazenados e devidamente catalogados, de forma a possibilitar a posterior calibração dos cones de Imhoff, a análise granulométrica dos sedimentos.

Para converter a massa de sedimentos arrastados no escoamento, (g/l), em massa de solo (g), é necessário conhecer o volume de água do escoamento num determinado tempo, ou seja, o caudal no momento da recolha. Para tal foram instalados canaletes de Replogle, na extremidade do sulco e cada recolha de sedimentos efectuada foi sempre acompanhada da respectiva leitura do caudal. Os diversos valores da concentração de sedimentos no escoamento,  $S_{con_i}$ , obtidos ao longo da rega, são então, multiplicados pelo caudal de saída no momento da recolha e pelo intervalo de tempo entre cada recolha ao longo da rega, de acordo com as formulas de cálculo desenvolvidas por Sojka *et al.*, (1992), já descritas também no capítulo anterior.

$$PS (g) = \sum_{i=1}^n S_{con_i} \times Q_{s_i} \times P_i \quad (2.3)$$

onde, PS é a perda de solo em g,  $S_{con_i}$  é a concentração de sedimentos no escoamento num intervalo de tempo i,  $Q_{s_i}$  é o caudal de saída no intervalo de tempo i e  $P_i$  é o intervalo de tempo entre cada recolha, neste caso, corresponde a um período de 20 min.

Para avaliar a perda de solo, em kg por hectare, converteu-se a perda de solo, PS (g), em kg, dividindo-a depois pelo comprimento e largura dos sulcos, através da expressão,

$$PS_A = (PS \times 10) / (L \times L_a) \quad (2.4)$$

onde,  $PS_A$  é a perda de solo em kg/ha, PS a perda de solo em g, L o comprimento do sulco e  $L_a$  a largura do sulco.

A erosão pode também ser expressa em espessura de solo perdida, se se conhecer a densidade aparente do solo, possibilitando a conversão da perda de solo de kg/ha para mm, através da expressão,

$$PS_D (mm) = PS_A / (y \times D_{ap}) \quad (2.5)$$

sendo,  $PS_D$  (mm) a espessura de solo erodido,  $PS_A$  a perda de solo em kg/ha,  $D_{ap}$  a densidade aparente e y a constante de conversão ( $y = 10\,000 \text{ g/cm}^3$ ). Este factor de

conversão pode também ser considerado apenas uma constante adimensional igual a 10 000, se em vez da densidade aparente, que é adimensional, consideramos a massa volumica aparente em  $\text{g/cm}^3$ , o que é possível, já que a densidade aparente é dada pela expressão,

$$D_{ap} = m'/m \quad (3.2)$$

onde,  $m'$  é a massa do volume de solo e  $m$  a massa do volume igual de uma substância tomada como referência. A massa do volume igual da substância de referência, no caso concreto a água é igual a,

$$m = v \times \rho \quad (3.3)$$

onde,  $v$  é o volume ocupado pela água e  $\rho$  a massa específica da água. Sendo  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  e substituindo  $m$  por  $v \times \rho$  na expressão (3.2), a densidade aparente é igual à massa volumica do solo, tendo portanto como unidades  $\text{g/cm}^3$ , o que torna possível a conversão da perda de solo expressa em  $\text{kg/ha}$ , para  $\text{mm}$  de espessura de solo perdida.

A redução da perda de solo nos sulcos tratados proporcionada pela aplicação de PAM na água de rega, relativamente à verificada nos sulcos controle, foi calculada através da formula,

$$\text{RPS (\%)} = [(PS_c - PS_{PAM}) / PS_c] \times 100 \quad (3.4)$$

em que, RPS é a redução da perda de solo, em percentagem,  $PS_c$  é a perda de solo nos sulcos controle em  $\text{kg/ha}$ , e  $PS_{PAM}$  a perda de solo nos sulcos tratados com PAM em  $\text{kg/ha}$ .

### 3.4.1 Transporte sedimentos ao longo dos sulcos

Para verificar o transporte de sedimentos ao longo dos sulcos, dividiram-se os sulcos em 2 partes, 1/3 e 2/3, de forma a poder quantificar o movimento de sedimentos, na cabeceira dos sulcos, a 1/3 e no meio dos sulcos, a 2/3. As secções foram designadas por 1/3 e 2/3, porque no ensaio de campo se considerou a extremidade dos sulco, onde se quantificou a erosão ocorrida, como a secção 3/3.

A cabeceira dos sulcos foi considerada uma secção de 20 m de comprimento, com origem no início do sulco e a secção de 2/3 do comprimento do sulco, tem efectivamente metade do comprimento total do sulco.

A quantificação do transporte de sedimentos foi realizada seguindo todo o procedimento experimental e de cálculo seguidos na determinação da erosão nos sulcos, com a excepção do cálculo do caudal de saída à cabeceira dos sulcos e por vezes também a meio do sulco. O cálculo do caudal de saída nestas secções não foi realizado com o auxílio de canaletes, devido aos elevados caudais de entrada utilizados, o que levaria ao afogamento dos canaletes e conseqüentemente à impossibilidade de leituras. A estimativa dos caudais de saída nestas secções foi por isso, efectuado através da manipulação das equações da taxa de infiltração obtidas para a totalidade do sulco. Para cada sulco e cada rega no ensaio, a taxa de infiltração foi calculada, em l/m min, com a diferença entre o caudal de entrada e o caudal de saída na extremidade do sulco, dividida pelo comprimento total do sulco,

$$i \text{ (l/m min)} = (Q_e - Q_s)/L \quad (3.5)$$

onde,  $i$  é a taxa de infiltração,  $Q_e$  é o caudal de entrada,  $Q_s$  é o caudal de saída e  $L$  é o comprimento total do sulco.

Das curvas de taxa de infiltração obtidas com os valores de  $i$  observados no campo e os seus respectivos intervalos de tempo  $t$ , obtiveram-se os parâmetros empíricos da derivada da equação de Kostikov, equação (2.9). Para calcular o caudal de saída nas secções 1/3 e 2/3 do sulco, utilizou-se a equação (2.9) substituindo o  $t$  pelo intervalo de tempo entre as recolhas em cada uma das secções, determinando portanto o valor estimado de  $i$  para cada secção. Como a equação (3.5) pode ser expressa em função do caudal de saída,

$$Q_s (\text{l/min}) = Q_e - (i \times L) \quad (3.6)$$

o caudal de saída determina-se, substituindo o valor de  $i$  pelo valor estimado e o valor de  $L$  pelo comprimento da secção pretendida.

### 3.4.2 *Calibração dos Cones de Imhoff*

Os cones de Imhoff são graduados em ml e têm a capacidade de 1 l. Permitem a leitura no campo da concentração de sedimentos, num determinado momento do escoamento em ml/l.

Com a calibração dos cones de Imhoff pretende-se obter uma relação entre massa e volume de sedimentos, possibilitando assim, a conversão do volume de sedimentos, de cada uma das recolhas efectuadas durante a rega, em massa de sedimentos e assim determinar a quantidade de solo transportado no escoamento em cada uma das secções do sulco e a erosão (quantidade de sedimentos que efectivamente abandonam o campo). A calibração foi realizada com os sedimentos provenientes das recolhas de campo e em laboratório.

Para a calibração com os sedimentos recolhidos no ensaio de campo, foi necessário que pelo menos uma das três recolhas efectuadas em cada uma das secções do sulco controle e em um dos sulcos tratados de cada bloco fosse sempre armazenada (em garrafas de 1.5 l), e posteriormente foram decantadas no laboratório pelo método 224 C, descrito por Tara *et al.*, (1971) (Sojka *et al.*, 1992). Este método envolve a pré-pesagem de papeis de filtro Whatman nº5 desprovidos de humidade, a decantação e filtração no vácuo das amostras recolhidas no campo em funis de Buckman, a secagem na estufa a 105°C dos papeis de filtro com os sedimentos filtrados e na re-pesagem dos papeis com os sedimentos. Geralmente, este processo requer 0.5 a 1.0 h de tempo na preparação de cada amostra no laboratório e normalmente demora-se cerca de 1 semana para recolher e processar 100 amostras.

Na decantação das amostras pelo método 224C verificaram-se algumas perdas de material, devido à colmatação dos papeis de filtro.

Devido à morosidade, ao limite económico e ao facto de se perder parte da amostra no processo, optou-se, mais tarde, pela decantação dos sedimentos em

suspensão pelo método 224 C e na decantação dos sedimentos depositados nas garrafas de 1.5 l para copos de Erlenmeyer, previamente tarados. Os copos foram levados para a estufa e secos a 105°C, obtendo-se por diferença a massa dos sedimentos. Este processo permitiu uma calibração mais rápida e praticamente sem perda de sedimentos ao longo do procedimento.

O processo de transferência dos cones de Imhoff para as garrafas de 1.5 l traz também alguns problemas, perdendo-se por vezes parte dos sedimentos depositados nos cones, devido essencialmente à pequena abertura das garrafas.

Foi devido as estas perdas de material que se decidiu realizar curvas de calibração com os sedimentos recolhidos no campo e uma calibração em laboratório pelo método descrito por Sojka *et al.*, (1992), com solo proveniente da superfície de sulcos tratados e de sulcos controle. Para tal, foram preparadas séries de suspensões de 1l com concentrações de sedimentos que variam de 1 a 50 g l<sup>-1</sup>. As amostras foram agitadas mecanicamente durante 30 segundos e as suspensões foram decantadas para os cones de Imhoff onde ficaram a sedimentar durante 0.5 hora. A regressão foi elaborada entre o volume de sedimentação (ml) e a concentração de sedimento (g), de onde resultou a equação de calibração,

$$S_{con_i} = S_{vol_i} \times 1.2268 \quad (3.7)$$

onde,  $S_{con_i}$  é a massa de sedimentos no escoamento,  $S_{vol_i}$  é o volume lido nos cones de Imhoff e 1.2268 a constante empírica, isto é, o declive da recta de regressão que substitui a constante  $b$  na equação (2.2).

Como a equação obtida da calibração em laboratório (3.7), foi a que melhor se ajustou á curva de regressão, foi a que se utilizou para o cálculo da perda de sedimentos e do transporte ao longo dos sulcos.

Durante o ensaio de campo, verificou-se que nas amostras recolhidas nos sulcos tratados, os sedimentos depositados após 0.5 hora nos cones de Imhoff não se disponham em camadas justapostas como nos sulcos controle, depositavam em flocos envolvidos por bolhas de ar, o que por vezes dificultou a leitura nos cones, pois o volume total observado (sedimentos + bolhas de ar) não correspondia apenas ao volume de sedimentos. Realizaram-se por isso, curvas de calibração utilizando apenas as recolhas efectuadas no campo nos sulcos tratados e uma curva de calibração em laboratório com solo recolhido da superfície de sulcos tratados de forma a comparar os

coeficientes de determinação obtidos com os verificados nas curvas realizadas com solo de sulcos controle.

### **3.5 Análise granulométrica e textural dos sedimentos**

Para a análise granulométrica e textural as amostras de solo foram recolhidas nos canaletes e na superfície de sulcos tratados com PAM e sulcos controle. A análise granulométrica dos sedimentos foi realizada no laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora. Esta análise consiste na determinação da percentagem de areia grossa e areia fina, designadas por terra fina e definidas na escala de Atterberg, como partículas de diâmetros respectivamente de 2-0.2 mm e de 0.2-0.02 mm e nas percentagens de limo e argila, com diâmetros na escala de Atterberg de 0.02-0.002 e < 0.002, respectivamente. A determinação da proporção destas partículas, nas amostras de solo, foi realizada pelo método internacional de análise mecânica descrito por Costa, (1965).

As classes de textura foram determinadas através do diagrama do Departamento de Agricultura dos E.U.A, adaptado por Pereira Gomes e Antunes da Silva aos limites internacionais para a classificação da textura com base nas percentagens de areia, limo e argila, descrito por Costa, (1965).

### **3.6 Infiltração nos sulcos de rega**

#### ***3.6.1 Volume infiltrado e curvas de infiltração***

O cálculo do volume infiltrado foi realizado, em ambas parcelas do ensaio, através da medição rigorosa dos caudais de entrada e de saída, num determinado intervalo de tempo. A infiltração foi calculada pela diferença entre o caudal de entrada e o caudal de saída registados num determinado intervalo de tempo, neste caso, em intervalos regulares de 20 min. A diferença entre os valores obtidos, multiplicados pelo intervalo de tempo, correspondem portanto, ao volume infiltrado.

Os caudais de entrada foram sempre medidos nos sulcos rectilíneos e declivosos. Nos sulcos de contorno foram medidos e estimados pelo programa cabo-gest (Shahidian, 1996).

Os caudais de saída em ambas parcelas foram medidos nos canaletes de Replogle, (1982) e adaptados por Serralheiro, (1988). Os canaletes, foram colocados a meio (quando possível) e no fim de cada sulco. O rigor deste método depende da fiabilidade das leituras efectuadas nos canaletes, em especial no de saída, que é o mais variável, assim como da representatividade das condições de infiltração ao longo do sulco (Serralheiro, 1996).

As curvas de infiltração acumulada, estimadas a partir dos resultados obtidos, têm por base a equação de infiltração de Kostiakov,

$$I = k t^a \quad (2.8)$$

onde, I é o volume de água infiltrada no tempo t, k e a são parâmetros empíricos. As taxas de infiltração foram calculadas utilizando a forma derivada da equação de Kostiakov,

$$i = a k t^{a-1} \quad (2.9)$$

sendo, i a taxa de infiltração no tempo t, k e a os parâmetros empíricos.

O aumento da infiltração proporcionado pela aplicação de PAM nos sulcos tratados, foi calculado com a expressão,

$$100 * (I_{PAM} - I_c) / I_{PAM} \quad (3.8)$$

designando,  $I_{PAM}$  a infiltração obtida num sulco tratado e  $I_c$  a infiltração num sulco controle. Os aumentos de infiltração podem ser calculadas com as taxas instantâneas de infiltração ou com a infiltração acumulada.

### 3.6.2 Medição do caudal

Para a medição do caudal foram instalados canaletes no meio e fim de cada sulco. Os canaletes utilizados foram os triangulares de soleira espessa, do tipo projectado por Replogle e Bos (1982) e adaptado por Serralheiro (1988). Estes canaletes têm soleira de largura  $b = 75$  mm, e são considerados os mais adequados à medição de caudais na rega por (Serralheiro, 1996).

Os canaletes foram calibrados no canal de testes do Laboratório de Hidrologia do Departamento de Engenharia Rural. A curva de calibração obtida apresenta, como se pode constatar na figura 3.4 um coeficiente de determinação bastante elevado, facto pelo qual se utilizou esta equação geral em vez de equações individuais para cada canaleta.

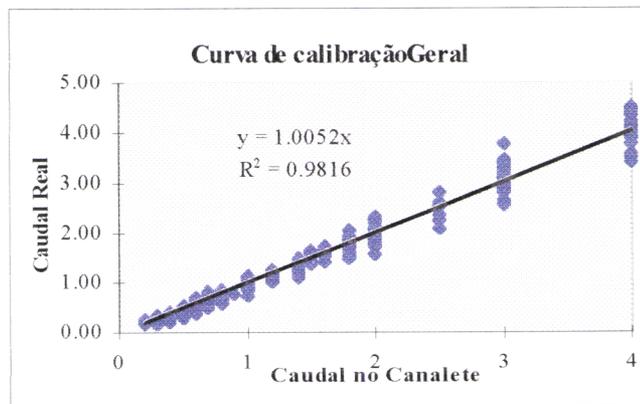


Figura 3.5 Curva de calibração dos canaletes

A equação de calibração utilizada é assim,

$$Q_r = 1.0052 \times Q_c \quad (3.9)$$

onde,  $Q_r$  é o caudal real,  $Q_c$  é o caudal lido no canaleta e a constante 1.0052 o declive da equação obtido na calibração.

### *3.6.3 Alteração da forma do perfil nos sulcos*

A erosão na rega por sulcos é um processo diferenciado, segundo Trout, (1996) o destacamento verifica-se essencialmente na cabeceira dos sulcos, e a deposição inicia-se a meio e prolonga-se até à sua extremidade, como já foi referido anteriormente. Esta distribuição do processo erosivo poderá levar a uma alteração na distribuição das partículas ao longo do sulco e também a uma alteração diferenciada da forma do perfil do sulco.

Neste ensaio os perfis foram medidos com o perfilómetro de réguas 12 horas após a rega. Os perfis foram medidos com o intuito de verificar, de forma qualitativa, a alteração da forma dos perfis dos sulcos controle relativamente aos sulcos tratados com PAM. E a alteração dos perfis ao longo do sulco e ao longo das diversas regas monitorizadas.

*Capítulo 4*  
*Análise e discussão dos resultados*

## **4. Análise e Discussão dos Resultados**

Este capítulo é composto por seis partes. A primeira parte destina-se à análise e discussão dos resultados da erosão verificada nos sulcos de contorno e nos sulcos rectilíneos e declivosos. Na segunda parte são analisados e discutidos os resultados da calibração dos cones de Imhoff, a partir da qual foi possível iniciar a quantificação da perda de solo e o seu transporte nos sulcos. A terceira parte destina-se à análise dos resultados do transporte de sedimentos ao longo dos sulcos em ambos blocos do ensaio. Na quarta parte é analisada a alteração da textura ao longo dos sulcos. Na quinta, são analisados e discutidos os resultados e curvas obtidas da taxa de infiltração e infiltração acumulada, nos sulcos de contorno e nos sulcos declivosos e rectilíneos. A última parte destina-se à análise da alteração do perfil dos sulcos ao longo das regas e a comparação qualitativa entre o perfil dos sulcos tratados e controle, em ambos blocos.

### **4.1 Erosão**

No ensaio realizado a eficácia do tratamento com PAM no controle da erosão, foi imediatamente perceptível na 1ª rega nos dois blocos em estudo. Constatou-se também, tal como seria de esperar, que o controle proporcionado pela aplicação de PAM é mais eficaz no bloco de sulcos declivosos e rectilíneos, uma vez que o bloco de contorno por si só constitui um método de controle da perda de sedimentos.

No transporte de sedimentos, quantificado pelas recolhas efectuadas nas secções dos sulcos a aplicação de PAM é demarcadamente eficaz porque promove a rápida floculação das partículas destacadas e em suspensão diminuindo o volume de sedimentos transportado ao longo do sulco.

#### 4.1.1 Erosão nos sulcos de contorno

Os sulcos de contorno constituem um eficaz sistema de controle de erosão, quer pelo facto de serem implantados em terraços nivelados com declive de 0.2%, quer pelo facto de serem de contorno, o que limita a velocidade do escoamento e consequentemente a força de corte exercida para o destacamento e transporte de partículas.

Contudo, se considerarmos os índices de tolerância de 0.2 a 0.1 t/ha indicados por Moldenhauer e Onstad (1975) para zonas de elevada erodibilidade, a máxima perda de solo verificada neste bloco, é na segunda rega maior que o limite superior de tolerância de perda de solo, como se pode constatar no quadro 4.1 onde consta a média de perda de solo dos sulcos tratados com PAM e dos sulcos controle.

Perda de solo (kg/ha)			
<i>Nº de regas</i>	<i>Sulco de controle</i>	<i>Sulco com PAM</i>	<i>Redução de perda de solo (%)</i>
1ª	99.05	15.4	84.42
2ª	255.08	30.0	88.22
3ª	150.95	7.4	95.10
4ª	80.51	7.5	90.72
5ª	112.59	11.8	89.50

Quadro 4.1 – Perda de solo na extremidade dos sulcos de contorno ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM

A aplicação média de 2.449 kg/ha de PAM, ao longo das 5 regas de tratamento, o que corresponde a uma aplicação média por época de 0.408 kg/ha/época de PAM, apesar de como já se disse os sulcos estarem implantados num terraço de contorno, permitiu uma redução de 84.4 a 95.1% da perda de solo. Estas reduções na perda de sedimentos, são idênticas às observadas por Lentz e Sojka, 1996, em sulcos de mobilização tradicional e com aplicações médias de PAM de aproximadamente 0.9 kg/ha/época.

Na análise de variância de dois factores efectuada, que permitiu verificar se existiam diferenças significativas entre os tratamentos e/ou entre as regas, constatou-se tal como seria de esperar, dada a redução na perda de sedimentos observada, que nos sulcos tratados a erosão foi significativamente ( $p > 0.01$ ) mais baixa que a ocorrida no sulco controle. Mas não se verificou existirem diferenças significativas entre regas (ver anexo C<sub>2</sub>).

Na figura 4.1 é possível visualizar a erosão ocorrida nos sulcos tratados e controle ao longo das regas monitorizadas.

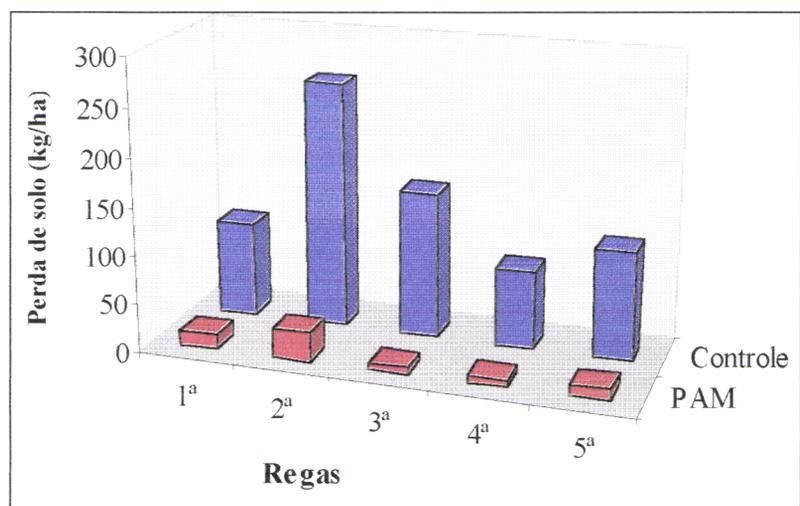


Figura – 4.1 Perda de solo nos sulcos tratados e sulcos controle do bloco de contorno ao longo de 5 regas

A teoria prevê que a erosão nos sulcos decresça ao longo do tempo. No entanto, a perda de sedimentos mais elevada ocorreu na segunda rega, quer nos sulcos controle quer nos sulcos tratados. Em ensaios semelhantes realizados por Trout em 1996 as perdas de solo mais elevadas verificaram-se também na segunda rega. A pequena perda de sedimentos observada na primeira rega deve-se provavelmente à elevada infiltração que ocorre geralmente na primeira rega, originada pela teor de humidade inicial do solo que gera uma grande diferença de potencial entre a superfície do solo e a superfície de água.

Nas seguintes regas as perdas de solo verificadas são decrescentes quer nos sulcos tratados, quer nos sulcos controle, com a excepção da última rega monitorizada. Este súbito aumento na última rega, pode dever-se ao facto dos caudais nesta rega terem sido superiores aos verificados na quarta rega monitorizada, aumentando assim, a força de corte exercida pela água e a sua capacidade de transporte e consequentemente a quantidade de material de solo destacado e arrastado.

Apesar do aumento da perda de sedimentos verificado na última rega, se excluirmos apenas a primeira rega, verifica-se que a perda de solo é decrescente ao longo do tempo e o decréscimo é logarítmico, como se constata na figura 4.2.

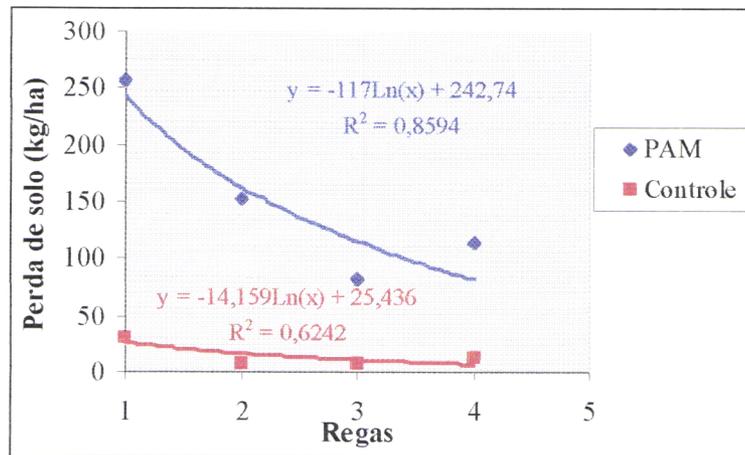


Figura 4.2 – Decréscimo da perda de solo nos sulcos tratados com PAM e nos testemunha (controle) do bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas

A curva logarítmica foi a que melhor se ajustou aos resultados obtidos, quer nos sulcos controle quer nos sulcos tratados. No entanto o coeficiente de determinação nos tratados é bastante inferior ao obtido no controle, o que se justifica uma vez que o decréscimo não é tão acentuado. Um decréscimo do tipo logarítmico, associado ao decréscimo da erodibilidade ao longo do tempo foi também, observado por Kabir e King em 1981 (citados por Trout e Neibling, 1993).

#### 4.1.1.1 Influência do comprimento do sulco na erosão

Segundo Carrol *et al.*, (1995) (citados por Miguens, 1997), em sulcos longos a infiltração reduz o escoamento total e o pico de escoamento no fim do sulco, diminuindo portanto, em princípio a perda de solo na parte final do sulco, uma vez que a diminuição do caudal e portanto, da capacidade de transporte limitaria o transporte de sedimentos para fora do sulco. Contudo, em ensaios realizados Carrol *et al.*, 1995 (citado por Miguens, 1997), compararam a concentração de sedimentos no escoamento final em sulcos de comprimentos diferentes e não verificaram diferenças significativas entre os sulcos de maior ou menor comprimento.

No ensaio realizado com 4 sulcos de 220 m e 4 sulcos de 160 m, eliminaram-se, um sulco tratado de 220 m e dois sulcos tratados de 160 m, devido ao facto de não ter sido possível obter todos os dados necessários ao longo das 5 regas monitorizadas. Com os sulcos seleccionados, SCp-26, SCp-28, SCc-27, de 220 m e SCp-46 e SCc44, realizou-se uma análise de variância de dois factores, de forma a poder verificar a existência ou não de diferenças significativas, entre os sulcos de diferentes comprimentos, tratados e controle, e/ou entre as regas. Da análise efectuada constatou-se não existirem diferenças significativas entre sulcos de diferentes comprimentos com o mesmo tratamento, nem entre regas (ver anexo C<sub>3</sub>), à semelhança dos resultados obtidos em ensaios realizados por Carrol *et al.*, 1995 (citado por Miguens, 1997).

#### 4.1.2 Erosão nos sulcos tradicionais rectilíneos e declivosos

Neste bloco os níveis de perda de solo são, como se esperava, bastante mais elevados que os verificados no bloco de contorno, como se pode constatar no quadro 4.2, que apresenta a média de perda de solo obtida nos sulcos tratados e a erosão no sulco controle.

Perda de solo (kg/ha)			
Nº de regas	Sulcos de controle	Sulcos PAM	Redução de perda de solo (%)
1ª	17532.29	723.7	95.87
2ª	8230.59	102.2	98.76
3ª	3629.07	26.1	99.28

Quadro 4.2 – Perda de solo na extremidade dos sulcos rectilíneos e declivosos ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM

Se convertermos a perda de solo ocorrida em espessura de solo que efectivamente deixou o campo, verifica-se que no sulco controle, só na primeira rega, perdeu-se 1.08 mm da espessura do solo. Admitindo, que a taxa média de formação de solo é de 0.1 mm/ano, como sugere Zachar, (1982) (citado por Morgan, 1995), nos sulcos com mobilização tradicional, ao fim de três regas foi perdida um espessura de solo de 1.812 mm, o que torna este sistema insustentável em termos de erosão, especialmente se pensarmos que foram aplicadas 30 regas. Com o tratamento realizado com PAM a espessura de solo



Figura 4.4 Volume de sedimentos recolhido para os cones de Imhoff num sulco  
Tratado com PAM

A aplicação de PAM, ao longo das três regas monitorizadas foi de 7.286 kg/ha, o corresponde a uma aplicação total, de 0.729 kg/ha/época. Com a aplicação de PAM foi possível uma redução da perda de sedimentos de 95.87 a 99.28%. O controle proporcionado pelo tratamento com PAM é tal como no bloco de contorno semelhante ao observado por Sojka e Lentz, 1996.

Na figura 4.5 é possível observar a discrepância entre a perda de sedimentos nos sulcos tratados e a verificada no controle.

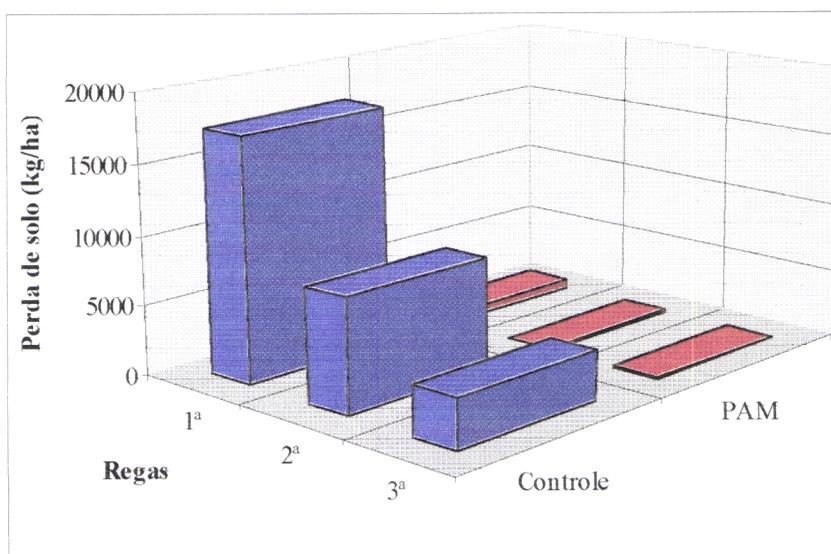


Figura 4.5 – Perda de solo na extremidade dos sulcos tratados com PAM e nos controle no bloco de sulcos retilíneos e declivosos

Apesar da elevada diferença verificada entre os tratamentos, na análise estatística não se verificaram diferenças significativas nem entre os tratamentos nem entre as regas (ver anexo C<sub>6</sub>). Este resultado, pode dever-se ao pequeno tamanho da amostra, uma vez que houve apenas três regas monitorizadas.

A erosão é decrescente ao longo das regas como se pode observar na figura 4.5, tal como previsto nos modelos de erosão por sulcos. Para verificar de que forma a taxa de erosão decresce com o tempo, ajustaram-se vários tipos de linhas de tendência de forma a verificar que tipo de curva explicava melhor o decréscimo ao longo do tempo e constatou-se que o decréscimo é exponencial ao longo do tempo, quer no sulco controle, quer nos sulcos tratados, como se pode observar na figura 4.6.

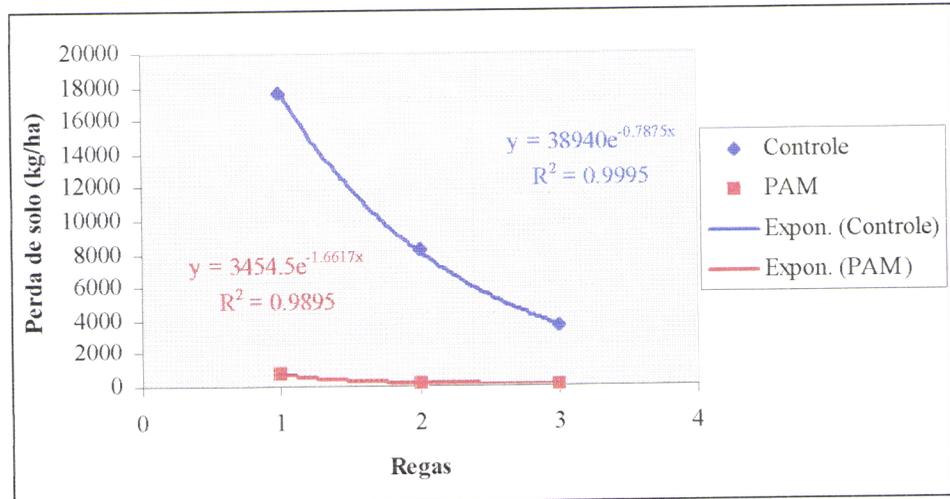


Figura 4.6– Decréscimo da perda de solo nos sulcos tratados com PAM e nos testemunha (controle) em sulcos declivosos retilíneos ao longo do tempo

O mesmo tipo de decréscimo ao longo do tempo foi obtido por Foster e Lane em 1993 (citados por Trout e Neibling, 1993) e justificado pelo alargamento da forma do sulco e a diminuição das forças de corte.

A alteração da forma foi nestes sulcos bastante demarcada pela erosividade do escoamento. Logo após a primeira rega verificou-se os sulcos tinham alargado lateralmente e tinham sido escavados em profundidade, desenvolvendo um perfil de erosão típico, de sulcos dentro de sulcos.

#### 4.2 Calibração dos Cones de Imhoff

Na calibração realizada com as amostras recolhidas no campo ao longo da rega obteve-se um coeficiente de determinação de  $r^2 = 0.8137$ , como se pode constatar na figura 4.7, apesar das já referidas perdas de material que se verificaram na transferência dos sedimentos dos cones de Imhoff para as garrafas de 1.5 l e no processo do protocolo exigido pelo método 224C.

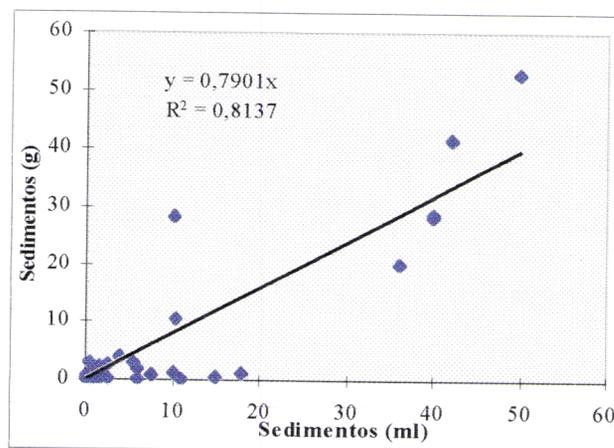


Figura 4.7- Curva de calibração dos cones de Imhoff com as recolhas de sedimentos do campo

No entanto, como esta curva de calibração foi obtida eliminando alguns valores, como por exemplo casos em que a 40 ml de sedimentos nos cones de Imhoff correspondiam apenas 1.5 g, realizaram-se duas calibrações em laboratório, uma com solo proveniente de sulcos controle e outra com solo de sulcos tratados. Onde obviamente se anularam as perdas por transferência e as perdas devidas ao método 224C, uma vez que a curva de calibração foi efectuada entre o volume nos cones e a massa de sedimentos pesada rigorosamente numa balança analítica seguindo o procedimento sugerido por Sojka *et al.*, (1992).

O interesse em realizar uma calibração com solo proveniente de sulcos tratados derivou do facto de no campo se verificar que a deposição de sedimentos nos cones de Imhoff de sulcos controle se verificava em camadas compactas justapostas de material completamente desagregado, e nas recolhas efectuadas em sulcos tratados, as partículas depositavam sob a forma de microagregados com porosidades visíveis entre eles.

Entre as duas curvas realizadas em laboratório, a curva com melhor ajustamento e portanto, com um coeficiente de determinação mais elevado, foi a obtida na calibração realizada com solo de sulcos tratados, em que o  $r^2 = 0.9948$ , como se pode observar na figura 4.8.

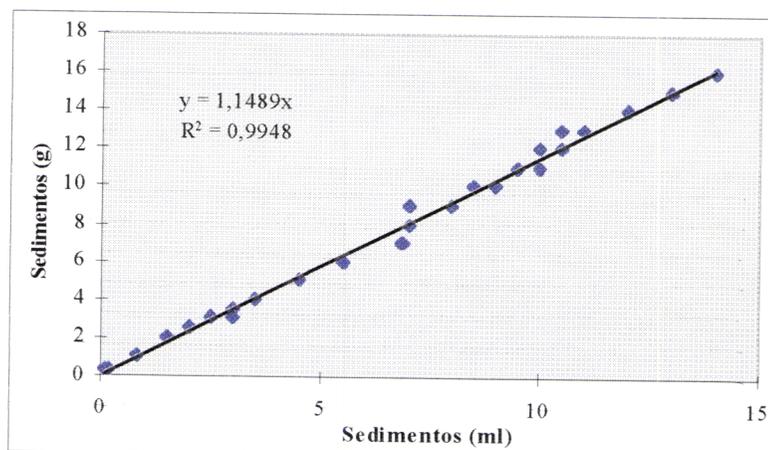


Figura 4.8 Curva de calibração dos cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos tratados com PAM

O coeficiente de determinação obtido nesta curva, é praticamente igual a 1, como se pode observar na figura 4.8. O facto das partículas depositarem como flocos com elevada porosidade entre eles, tal como se observou no campo no volume depositado nos cones de Imhoff de sulcos tratados, (o que por vezes dificultou a leitura do volume), é provavelmente o motivo pelo qual o coeficiente se aproxima mais de 1.

Na curva de calibração realizada em laboratório com solo de sulcos controle obteve-se também um coeficiente de determinação elevado de  $r^2 = 0,9825$ , como se pode verificar na figura 4.9.

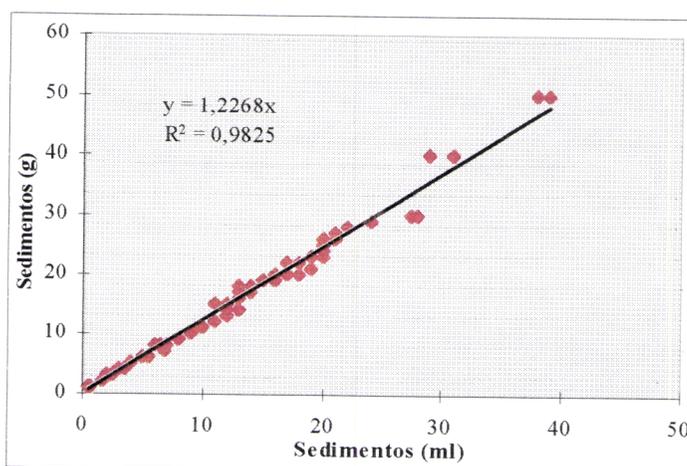


Figura 4.9 Curva de calibração dos cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos controle

Esta curva foi a seleccionada para a calibração dos cones de Imhoff utilizada neste trabalho, de onde resultou a equação de calibração (3.7), também representada na figura 4.9. Escolheu-se a equação representativa desta curva de calibração porque permite um

bom ajustamento, é proveniente de solo de sulcos não tratado e anula as perdas de material dos processos acima descritos.

De forma a verificar qual dos processos descritos anteriormente contribuía para a maior perda de material, se o procedimento experimental do método 224C, se a transferência efectuada no campo dos cones para as garrafas, efectuou-se também em laboratório, uma calibração com solo não tratado, entre o volume nos cones de Imhoff e a sua respectiva massa, quando determinada pelo método 224C. Nesta calibração o coeficiente de determinação foi também bastante elevado,  $r^2=0.981$ , como se pode constatar na figura 4.10, o que em princípio, e na ausência de outro eventual erro experimental, nos permite afirmar que a diferença entre os coeficientes de determinação verificada entre a calibração realizada em laboratório (figura 4.9) e a calibração realizada com os sedimentos recolhidos no campo (figura 4.7) se deve essencialmente ao processo de transferência das amostras dos cones para as garrafas de 1.5 l, devido à pequena abertura destas.

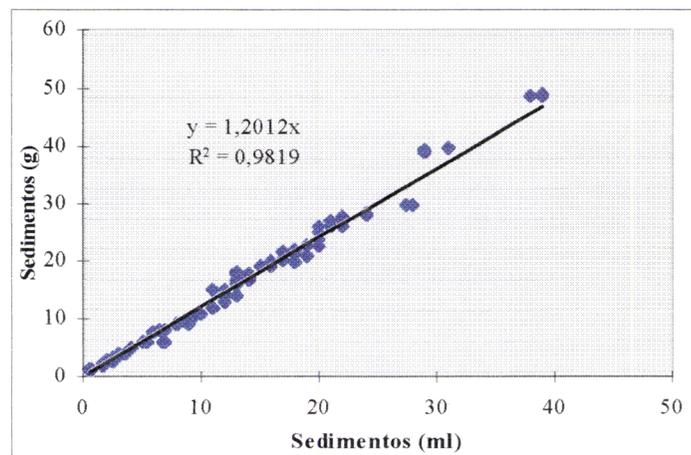


Figura 4.10 Calibração dos cones de Imhoff realizada através do método 224C (Taras *et al.*,1971)

Realizaram-se ainda, curvas de calibração para os valores obtidos no campo, separando os blocos em bloco de contorno e bloco de mobilização tradicional e dividindo os valores obtidos dos sulcos controle dos obtidos nos sulcos tratados (ver anexos-B4 e B5). A curva obtida dos valores dos sulcos controle não difere em ambos blocos, no entanto, a curva obtida com os valores dos sulcos tratados apresenta um coeficiente de determinação de  $r^2 = 0.74$  no bloco de mobilização tradicional, e de  $r^2 = 0.34$  no bloco de contorno. Aqui a explicação poderá residir no facto de no bloco de contorno o volume de

sedimentos nos sulcos tratados ser praticamente negligível, com a exceção das primeiras regas, o que pode ter aumentado o risco de se perder material ou na passagem dos cones para as garrafas.

### 4.3 Transporte de sedimentos ao longo dos sulcos

O modelo de erosão nos sulcos, discutido extensivamente por Trout e Neibling em 1993, prevê que a taxa líquida de erosão diminua ao longo do sulco à medida que a capacidade erosiva diminui com o decréscimo do caudal e o aumento da concentração de sedimentos no escoamento. À medida que a concentração de sedimentos aumenta, aumenta também a probabilidade de deposição.

Segundo Trout e Neibling, (1993), o destacamento e portanto, a erosão propriamente dita, verifica-se à cabeceira dos sulcos, a aproximadamente 1/3 do comprimento total do sulco, a 2/4 do comprimento total inicia-se o processo de deposição e toma maiores proporções perto do fim do sulco.

O facto da deposição ser o processo dominante perto do final dos sulcos é o principal motivo para que a perda de solo quantificada no final dos sulcos seja normalmente um valor que subestima a erosão verificada ao longo do sulco.

#### 4.3.1 Transporte de Sedimentos nos sulcos de contorno

A concentração de sedimentos no escoamento verificada a 1/3 e a 2/3 do comprimento dos sulcos para cada uma das regas monitorizadas foi sempre em média, superior à concentração de sedimentos verificada a 3/3 do sulco, quer nos sulcos controle, quer nos sulcos tratados, como se pode constatar na observação dos quadros 4.1, 4.3 e 4.4.

<b>Perda de solo (kg/ha)</b>			
<i>Nº de regas</i>	<i>Sulcos controle</i>	<i>Sulcos PAM</i>	<i>Redução do transporte de solo (%)</i>
1 <sup>a</sup>	1652.50	2513.8	-52.12
2 <sup>a</sup>	703.08	490.1	30.29
3 <sup>a</sup>	298.92	129.6	56.64
4 <sup>a</sup>	297.82	55.0	81.52
5 <sup>a</sup>	181.10	0.0	100.00

Quadro 4.3 – Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos de contorno ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM

No entanto, na análise de variância realizada (ver anexo C<sub>4</sub>), a quantidade de sedimentos transportados no escoamento a 1/3 dos sulcos não difere significativamente ( $p > 0.1$ ) da concentração verificada a 3/3 dos sulcos. A falta de significância pode dever-se ao reduzido tamanho da amostra.

Nos sulcos controle pode-se constatar que ao longo das várias regas, a concentração de sedimentos a 3/3 é desde 94%, no início das regas, a 37.8%, na última rega monitorizada, menor que a obtida a 1/3, o que confirma o modelo de erosão nos sulcos. Em média a concentração de sedimentos nos sulcos controle foi, à cabeceira dos sulcos 77.7% superior que a verificada na sua extremidade.

Nos sulcos tratados o modelo de erosão também se confirma, e em média o movimento de sedimentos no escoamento foi à cabeceira dos sulcos 97.7% superior à verificada no fim dos sulcos. Os benefícios da aplicação de PAM foram perceptíveis logo a 1/3 do sulco como se pode constatar no quadro 4.3 e na figura 4.11. Verificou-se uma diminuição da concentração de sedimentos no escoamento em todas as regas controladas, com a exceção da 1ª rega, cuja concentração de sedimentos foi 52.2% superior à observada no sulco controle, como se pode visualizar, também na figura 4.11.

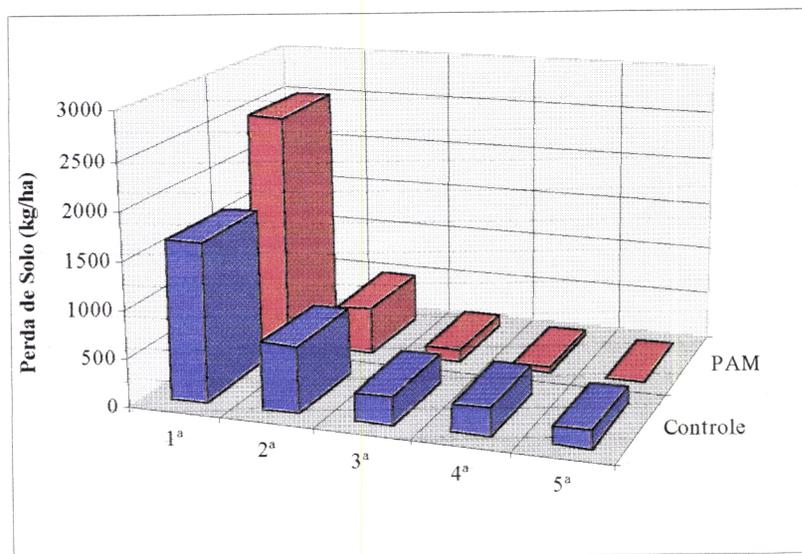


Figura 4.11 Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos tratados com PAM e nos sulcos controle do bloco de contorno ao longo das regas

Esta elevada concentração de sedimentos observada na 1ª rega nos sulcos tratados, deve-se provavelmente à rápida floculação das partículas, proporcionada pela aplicação de PAM e ao facto das recolhas nesta secção do sulco terem sido, nesta rega, efectuadas a 6 m e não a 20 m de distância da saída de água do tubo janelado como em todas as restantes

O decréscimo do transporte de sedimentos ao longo do tempo verifica-se também a 1/3, como se pode observar na figura 4.13 e tal como previsto na teoria e modelos existentes. Ao ajustar vários tipos de curvas de tendência aos resultados obtidos, constatou-se que o decréscimo é logarítmico ao longo do tempo nos sulcos tratados, mas no controle o decréscimo verifica-se segundo uma função de potência, como se pode observar na figura 4.13.

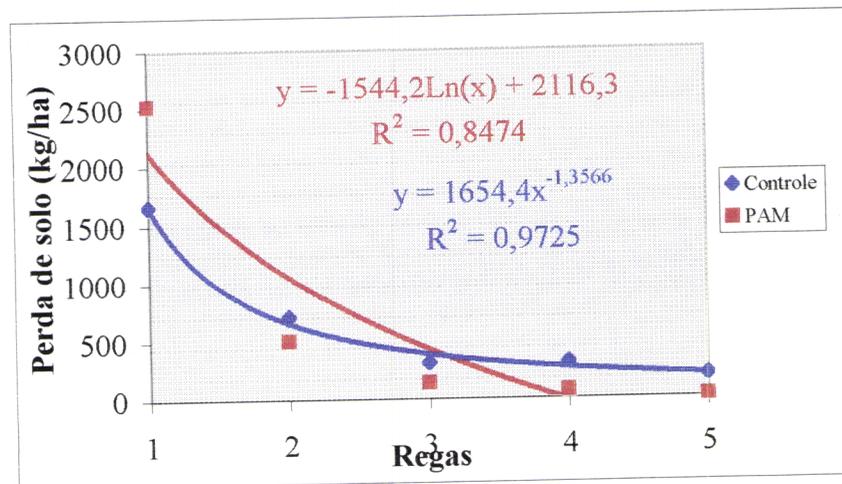


Figura 4.13 Decréscimo do transporte de sedimentos a 1/3 de sulcos tratados com PAM e sulcos controle no bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas

A concentração de sedimentos observada a 2/3 dos sulcos controle e tratados é em média inferior à ocorrida a 1/3 e superior à verificada a 3/3 (ver anexo C<sub>2</sub>), tal como é previsto pelo modelo de erosão.

A redução e controle da concentração de sedimentos no escoamento verificada pela aplicação de PAM varia de 3.82% a 100%, como se pode constatar no quadro 4.4.

Perda de solo (kg/ha)			
Nº de regas	Sulcos Controle	Sulcos PAM	Redução do transporte de solo (%)
1ª	231.31	62.4	73.02
2ª	60.35	58.0	3.82
3ª	100.88	0.0	100.00
4ª	160.45	0.0	100.00
5ª	285.14	14.2	95.03

Quadro 4.4 – Transporte de sedimentos a 2/3 nos sulcos de contorno ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM

A concentração de sedimentos observada, nos sulcos controle, na 2ª rega, parece ser demasiado baixa, e é possível que se trate de um erro, uma vez que é muito inferior à verificada na 3ª rega. Apesar da baixa concentração de sedimentos da 2ª rega nos sulcos

controle, a diferença entre os tratamentos é significativa a 5%. E entre as regas não se verificaram diferenças significativas (ver anexo C<sub>2</sub>).

O decréscimo do transporte de sedimentos ao longo do tempo não é aqui demarcado como no início e fim dos sulcos, como se pode observar na figura 4.14.

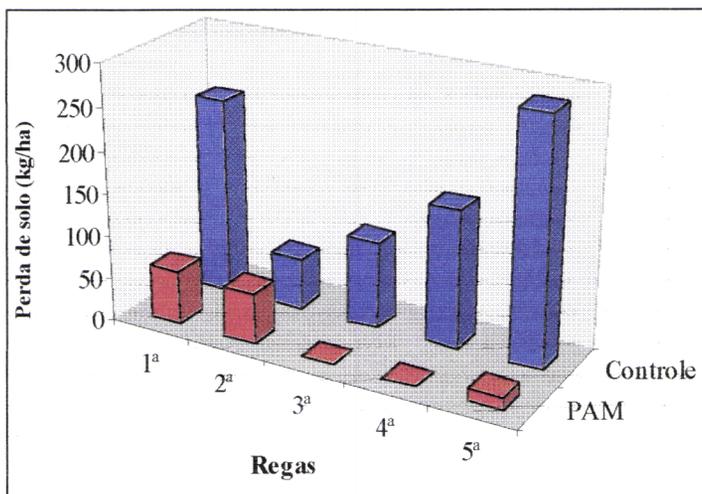


Figura 4.14 Transporte de sedimentos observado a 2/3 do comprimento dos sulcos tratados com PAM e nos sulcos controle do bloco de contorno ao longo das regas

Ao contrário da primeira e última secção dos sulcos aqui o transporte no sulco controle diminuí da 1<sup>a</sup> para a 2<sup>a</sup> rega e aumenta gradualmente até à 5<sup>a</sup> rega.

Contudo, nos sulcos tratados o transporte de sedimentos ao longo do tempo decresce de forma logarítmica, como se pode observar na figura 4.15.

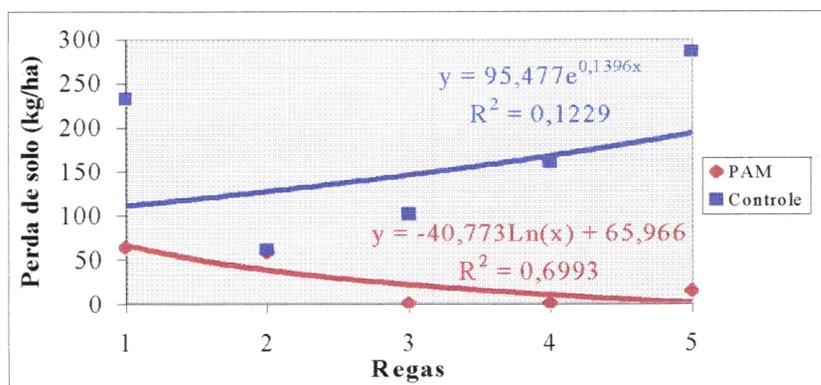


Figura 4.15 – Decréscimo do transporte de sedimentos a 2/3 do comprimento dos sulcos tratados com PAM e sulcos controle no bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas

### 4.3.2 Transporte de sedimentos em sulcos declivosos e rectilíneos

Neste bloco não foi possível analisar o transporte de sedimentos a 2/3 nos sulcos tratados o que inviabiliza a comparação com o transporte verificado no sulco controle.

O volume de sedimentos transportados a 1/3 é consideravelmente superior ao verificado no bloco de contorno. Ao contrário do bloco de contorno, onde o volume de sedimentos no escoamento era a 1/3 muito superior ao volume observado a 3/3, e que efectivamente abandonou os sulcos, neste bloco os volumes a 1/3 são semelhantes aos verificados a 3/3, como se pode observar nos quadros 4.2 e 4.5.

Perda de solo (kg/ha)			
Nº de regas	Sulcos controle	Sulcos PAM	Redução do transporte de solo (%)
1ª	22279.67	2761.1	87.61
2ª	4315.44	0.0	100.00
3ª	4249.85	76.8	98.19

Quadro 4.5 – Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos rectilíneos declivosos ao longo das regas e redução proporcionada pelo tratamento com PAM

O facto da concentração de sedimentos no escoamento verificado a 3/3 ter sido semelhante à observada a 1/3, vem de certa forma contrariar o modelo de erosão nos sulcos, descrito por Trout e Neibling, em 1993. No entanto, neste bloco o declive médio é de 1.6 %, mas não é uniforme em todo o bloco, como acontecia no bloco de contorno e como é previsto no modelo de erosão. Consequentemente não nos encontramos na situação ideal dos modelos de erosão, descritos por Trout e Neibling, (1993), nos quais o declive é homogéneo.

A redução do transporte de sedimentos proporcionada pela aplicação de PAM varia de 87.61 a 100 % e é em média superior à verificada nos sulcos de contorno. Contudo, na análise de variância efectuada não existem diferenças significativas entre os tratamentos, o que tal como nos resultados obtidos a 3/3 se deve ao reduzido tamanho da amostra (ver anexo C<sub>6</sub>). Para confirmar esta hipótese, realizou-se uma análise de variância de dois factores, utilizando os resultados obtidos na cabeceira do sulco e os resultados obtidos na sua extremidade, verificando-se existirem diferenças significativas ( $p = 0.02$ ) entre os tratamentos (Anexo C<sub>7</sub>). Com esta análise de variância foi também, possível confirmar que entre a concentração de sedimentos verificada no início do sulco e a verificada na sua extremidade não existem diferenças significativas.

Na figura 4.16 é possível observar que no sulco controle o transporte de sedimentos decresce ao longo do tempo. Nos sulcos tratados, verificou-se um pequeno aumento do transporte, na terceira rega, no entanto, bastante menor que o transporte observado no sulco controle, sendo por isso imperceptível na figura 4.16.

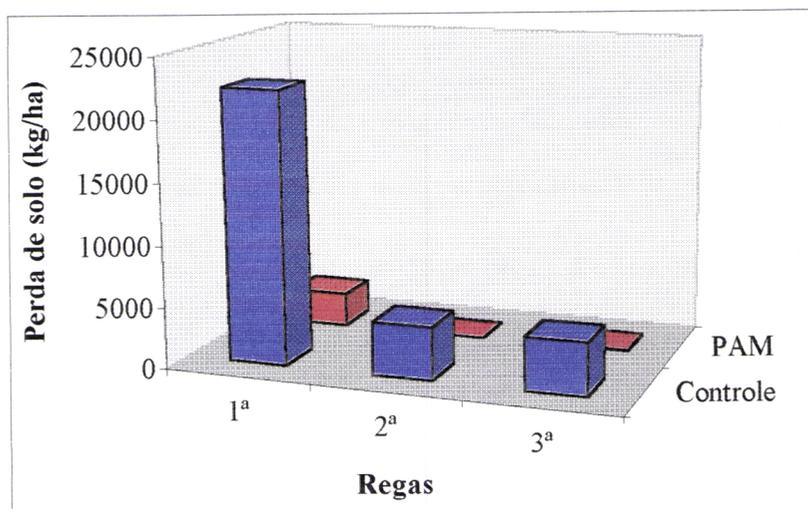


Figura 4.16 Transporte de sedimentos na cabeceira dos sulcos tratados com PAM e nos sulcos controle em sulcos retilíneos declivosos ao longo das regas

As funções que descrevem o decréscimo ao longo do tempo para 1/3 dos sulcos diferem entre os sulcos tratados e controle e das funções que se verificaram a 3/3, como se pode verificar na figura 4.17.

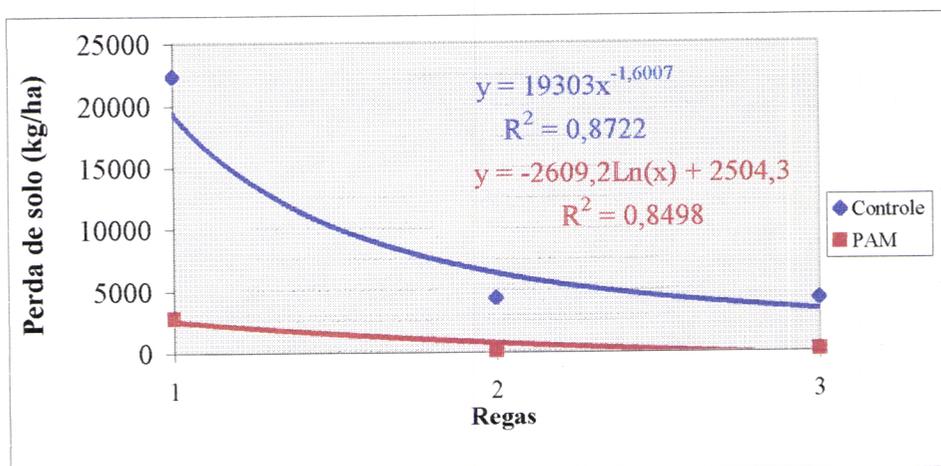


Figura 4.17 – Decréscimo de transporte de sedimentos a 1/3 de sulcos tratados com PAM e sulcos controle em sulcos retilíneos e declivosos

#### 4.4 Alteração selectiva da textura do solo ao longo dos sulcos

A análise textural foi apenas possível nos sulcos de contorno. As amostras para a análise textural foram recolhidas nos canaletes ou, quando isso não era possível, na camada superficial dos sulcos, em cada uma das secções consideradas.

A textura dos solos Mediterrâneos Pardos (Pmg) é no horizonte superficial, franco-arenosa com transição abrupta para textura franco-argilo-arenosa, devido à acumulação de argila, característico do processo pedogenético, no horizonte B.

Nos sulcos de controle a textura da superfície do solo manteve-se, franco-arenosa, no meio e na extremidade dos sulcos. No início dos sulcos, verificou-se uma alteração da textura, para arenoso-franco, o que denota uma migração da argila ao longo do sulco, como se pode constatar pela análise e observação do quadro 4.6 e da figura 4.18.

Secção do sulco	Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)
1/3	85.18	5.80	8.83
2/3	81.65	6.44	11.28
3/3	82.07	6.36	11.25

Quadro 4.6 Proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos controle no bloco de contorno

De particular interesse é também a elevada percentagem de areia, praticamente igual em todas as secções do sulco, como se pode verificar no quadro 4.6 e na figura 4.18, o que parece indicar que a alteração de textura verificada no início dos sulcos, ao fim de cinco regas, se verifique também, nas restantes secções, ao longo das seguintes regas, com a migração da argila do meio para o final dos sulcos, e da extremidade para fora do campo.

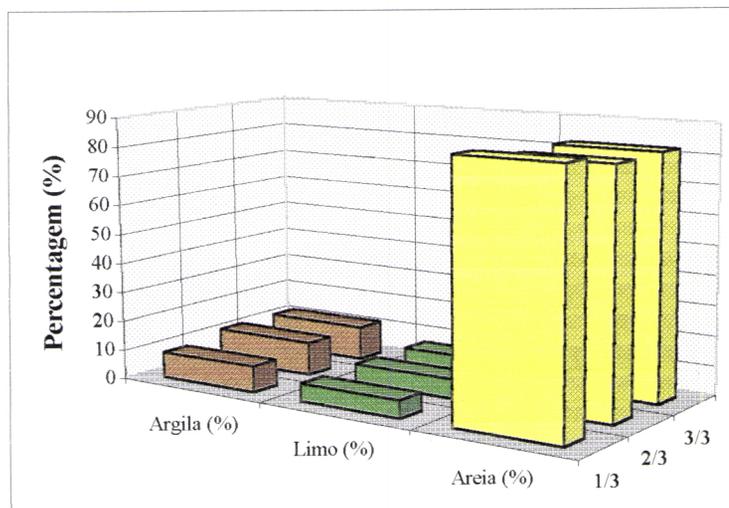


Figura 4.18 - Representação das proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos controle no bloco de contorno

Nos sulcos tratados com PAM as proporções de areia, limo e argila são consideravelmente diferentes das verificadas nos sulcos controle. Como se pode constatar no quadro 4.7, as percentagens de limo e argila são superiores às observadas nos sulcos controle, para todas as seções consideradas.

Seção do sulco	Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)
1/3	77.48	7.87	15.33
2/3	70.40	12.07	14.27
3/3	62.01	14.20	24.80

Quadro 4.7 - Proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos tratados com PAM no bloco de contorno

As percentagens de areia obtidas nos sulcos com tratamento são inferiores às verificadas nos sulcos controle, o que confirma a eficácia de PAM na agregação, redução do destacamento e transporte de partículas, uma vez que a proporção relativa da fração areia é a fração de partículas dominante depois das de limo e argila terem sido transportadas.

Ao contrário do que se verificou nos sulcos controle, a textura do meio e início dos sulcos manteve-se, franco-arenosa. A superfície do solo à cabeceira dos sulcos não foi nos sulcos tratados tão erodida como nos sulcos controle, mantendo-se portanto, a textura, tal como era esperado.

No final dos sulcos verificou-se uma alteração da textura, mas neste caso, para uma textura, franco-argilo-arenosa, o que denota um movimento de partículas de argila ao longo dos sulcos e a sua acumulação na extremidade dos sulcos, não abandonando portanto o campo.

Na figura 4.19 é possível visualizar a acumulação de argila na extremidade dos sulcos e a redução da percentagem de areia ao longo dos sulcos, o que evidencia que o início dos sulco, é de facto, a secção dos sulcos mais erodida.

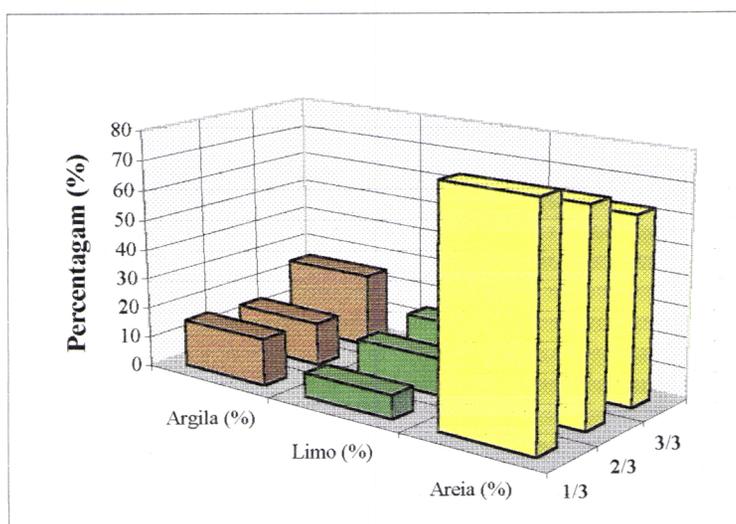


Figura 4.19 Representação das proporções de areia, limo e argila ao longo dos sulcos tratados com PAM no bloco de contorno

#### **4.5 Infiltração**

O efeito das aplicações de PAM nos sulcos tratados foi imediatamente visível a partir da primeira aplicação em ambos blocos em estudo, uma vez que o escoamento era praticamente límpido de sedimentos a poucos metros da saída de água (20 m), como se pode observar na figura 4.20, em contraste com os sulcos controle, como se pode constatar na figura 4.21. Mantendo-se portanto, nos sulcos tratados a forma do perfil próxima da original e assim o seu perímetro molhado.



Figura 4.20 Representação do arrastamento de sedimentos pela água de rega num sulco tratado com PAM

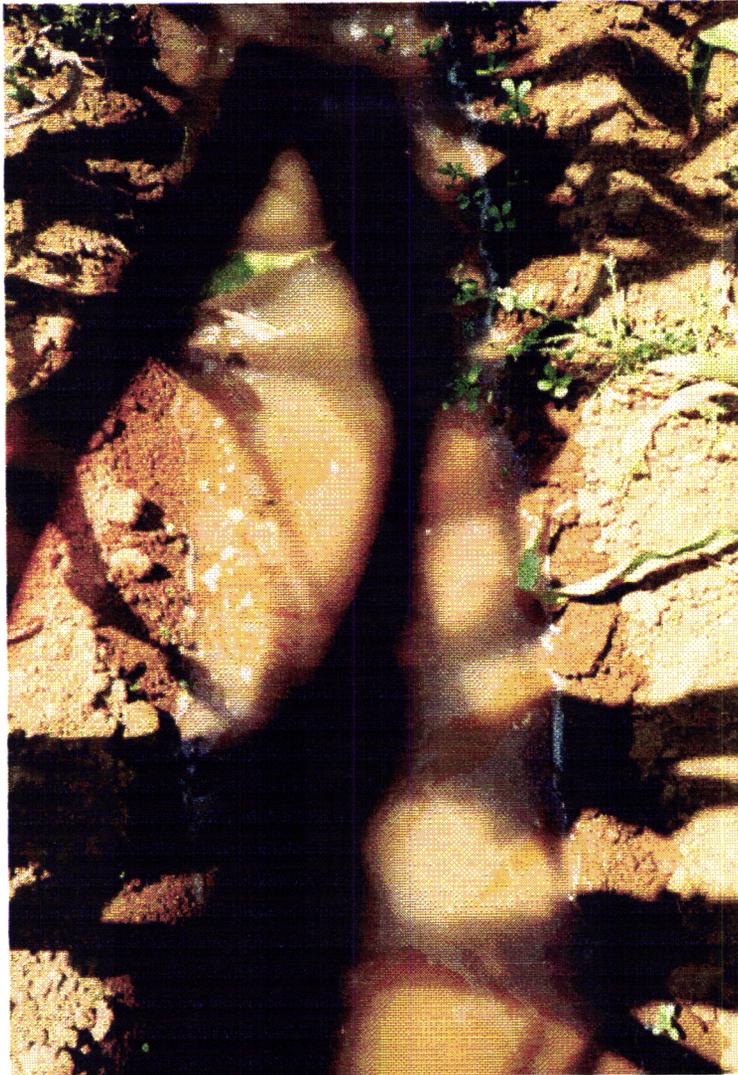


Figura 4.21 Representação do arrastamento de sedimentos pela água de rega num sulco controle

Depois da rega era claramente visível, mesmo a apenas 6 m da saída de água, onde o destacamento é elevado, não só a manutenção da forma do perfil do sulco tratado, comparativamente ao sulco controle, mas também a manutenção da estrutura e consequentemente da porosidade, como se pode constatar na figura 4.22, o que limitou o aparecimento da crosta superficial.



Figura 4.22 - Aspecto da estrutura e agregação num sulco tratado com PAM e a desagregação num sulco controle 12 horas após a 2ª rega a 6 m da saída de água

Os tempos de avanço nos sulcos tratados, geralmente superiores aos dos sulcos controle, (ver anexo D), constituem também um importante indicador do aumento do tempo de oportunidade de infiltração e consequentemente da infiltração nos sulcos de aplicação de PAM.

Os maiores aumentos de infiltração por aplicação de PAM verificaram-se no bloco de sulcos retilíneos declivosos.

#### 4.5.1 Sulcos de contorno

Apesar dos sulcos de contorno proporcionarem, um aumento da oportunidade de infiltração, devido ao declive reduzido (0.2%) (homogéneo em todo o campo) e ao facto de serem de contorno, o que reduz a velocidade do escoamento, a aplicação de PAM permitiu ainda, um aumento da infiltração, como se pode verificar no quadro 4.8.

<i>Regas controladas</i>	<b>Taxa de Infiltração</b>			<b>Infiltração acumulada</b>		
	<i>Controle</i>	<i>PAM</i>	<i>Aumento</i>	<i>Controle</i>	<i>PAM</i>	<i>Aumento</i>
	<i>(l/m min)</i>	<i>(l/m min)</i>	<i>(%)</i>	<i>(l/m min)</i>	<i>(l/m min)</i>	<i>(%)</i>
1 <sup>a</sup>	0.51	0.59	13.3	46.0	78.9	41.6
2 <sup>a</sup>	0.27	0.34	20.7	32.0	43.5 <sup>1</sup>	26.5
3 <sup>a</sup>	0.16	0.33	52.7	36.3	43.8	17.1
4 <sup>a</sup>	0.11	0.23	52.7	12.8	31.8	59.7
5 <sup>a</sup>	0.11	0.21	49.6	22.2	45.6	51.4

Quadro 4.8 - Taxa de infiltração, infiltração acumulada e respectivas variações médias ao longo das regas nos sulcos de contorno

Os valores constantes no quadro 4.8 da taxa de infiltração e infiltração acumulada, para controle e PAM resultam das médias obtidas em dois sulcos de PAM seleccionados e nos dois sulcos controle. Esta selecção deve-se à grande variabilidade observada entre os sulcos tratados, cujas causas possíveis foram diversas, desde o rebentamento dos sulcos até ao desnível do terreno que limitou a manutenção de carga constante nos depósitos de injeccção de PAM nos sulcos, por isso dos 6 sulcos tratados seleccionaram-se, o SC-p26 e o SC-p46, de onde resulta a média apresentada no quadro 4.8.

Nos sulcos tratados a taxa de infiltração foi sempre superior à obtida nos sulcos controle e a diferença aumentou a partir da 1<sup>a</sup> rega, como se pode observar na figura 4.23.

<sup>1</sup> Este valor foi obtido no sulco SC-p48, uma vez que nos sulcos seleccionados (SC-p26 e SC-p46) os valores obtidos na segunda rega não foram muito credíveis

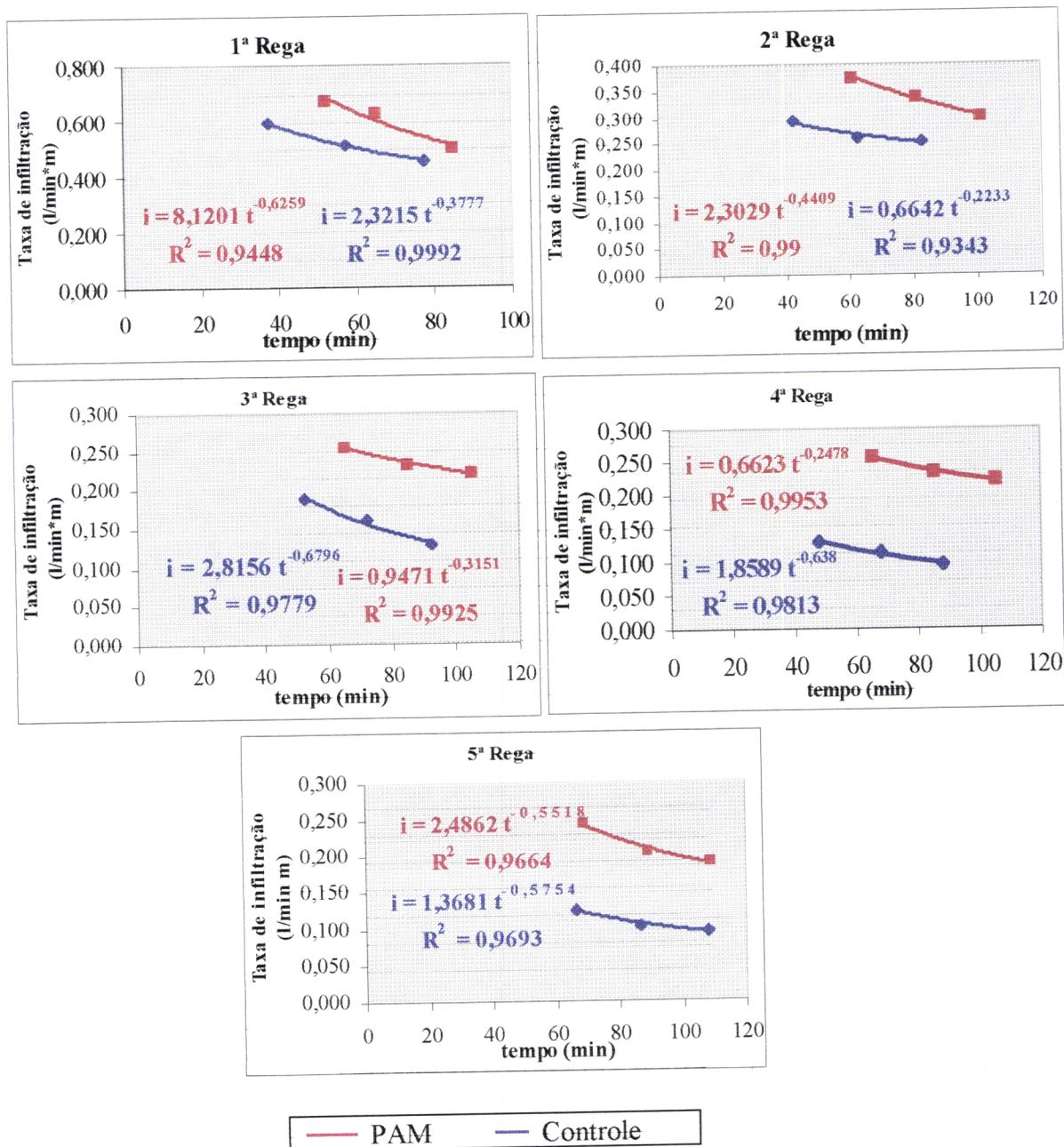


Figura 4.23 – Equações e curvas da taxa de infiltração média nos sulcos controle e tratados com PAM no bloco de contorno

O pequeno aumento proporcionado pelo tratamento na primeira rega, era esperado uma vez que a taxa de infiltração é decrescente e os maiores volumes infiltrados são sempre obtidos na primeira rega.

O crescente aumento da infiltração nos sulcos tratados comparativamente ao controle, nas regas seguintes é explicado pela elevada estabilidade, proporcionada pela aplicação de PAM, no perímetro molhado dos sulcos, e pela redução da formação de

O pequeno aumento da infiltração em sulcos tratados e controle verificado na 5ª rega, deve-se provavelmente, ao facto do caudal desta rega ter sido superior ao da 4ª rega.

Para a análise estatística dos resultados realizou-se a análise de variância de dois factores, o que permitiu verificar se as diferenças são significativas entre as regas e/ou entre os tratamentos. Para verificar quais as regas que diferem entre si efectuou-se o teste de Scheffé da mínima diferença significativa.

Na análise de variância da taxa de infiltração entre os valores médios dos sulcos controle e dos sulcos tratados, no quadro 4.8, verificou-se existirem diferenças significativas entre as regas e entre os tratamentos a 1%. No teste de Scheffé constatou-se que a 1ª rega difere significativamente de todas as restantes, e que os valores médios obtidos dos sulcos tratados diferem significativamente dos sulcos controle.

Na análise da infiltração acumulada, verificou-se que a 1ª rega difere apenas da 4ª, e confirma-se a diferença entre os tratamentos.

Para verificar a influência do comprimento dos sulcos na taxa de infiltração e infiltração acumulada, realizou-se uma análise de variância, também de dois factores sem repetição, entre os dois sulcos tratados considerados, e os dois sulcos de controle, para as cinco regas monitorizadas. Na análise efectuada para a taxa de infiltração, constata-se que de facto a 1ª rega difere de todas as restantes, e que entre os sulcos não existem diferenças significativas entre os sulcos tratados de diferentes comprimentos nem entre os sulcos controle. Verifica-se que existem diferenças significativas entre os sulcos tratados de diferentes comprimentos e o sulco controle de 220 m, Sc-27, e estranhamente não se constata diferenças significativas entre os sulcos tratados e o sulco controle de 160 m, Sc-44.

Na infiltração acumulada, verificou-se que entre as regas apenas existem diferenças entre a 1ª e a 4ª, à semelhança do que se verifica considerando as médias. Entre os tratamentos, constata-se que apenas o sulco tratado de 220 m, SCp-26, difere do sulco controle de 160 m, SCc-44, não existindo diferenças significativas entre os sulcos tratados de diferentes comprimentos, e também estranhamente entre estes e o sulco controle de 220 m, SCc-27 (ver anexo E<sub>2</sub>). Contudo, é talvez possível afirmar que as diferenças que se verificaram são entre os tratamentos e não entre sulcos de diferentes comprimentos (ver anexo E<sub>2</sub>).

#### 4.5.2 Bloco de Sulcos Declivosos e Rectilíneos

Neste bloco os efeitos da aplicação de PAM foram também imediatamente visíveis na 1ª rega, quer pelo facto do escoamento se apresentar límpido nos sulcos tratados, tal como no bloco de contorno, quer pelas recolhas de sedimentos no sulco controle, que ao contrário dos sulcos tratados e dos valores obtidos no bloco de contorno, apresentava valores de concentração de sedimentos com volumes elevadíssimos (40 ml/l). E portanto, indicativos de um dinâmico transporte ao longo do sulco e elevada perda de sedimentos, o que por sua vez, é um importante indicador da alteração do perímetro molhado, da formação de crosta superficial e da alteração da textura da superfície do solo.

Neste bloco seleccionaram-se entre os 3 sulcos de tratamento com PAM, o mais representativo, neste caso o SD-p6, para comparar com o controle, SD-c3. Os aumentos verificados na taxa de infiltração e infiltração acumulada foram de 58 a 85.2%, como se pode observar no quadro 4.9, e portanto, muito superiores aos obtidos no bloco de contorno e também bastante mais elevados, que os aumentos de 15 a 30% mencionados nos ensaios realizados por Sojka e Lentz, (1996).

<i>Regas controladas</i>	<b>Taxa de infiltração</b>			<b>Infiltração acumulada</b>		
	<i>Controle</i>	<i>PAM</i>	<i>Aumento</i>	<i>Controle</i>	<i>PAM</i>	<i>Aumento</i>
	<i>(l/m min)</i>	<i>(l/m min)</i>	<i>(%)</i>	<i>(l/m min)</i>	<i>(l/m min)</i>	<i>(%)</i>
1ª	0.05	0.17	70.59	4.03	20.35	80.2
2ª	0.13	0.31	58.06	7.43	50.19	85.2
3ª	0.05	0.24	79.17	3.37	11.35	70.31

Quadro 4.9 - Taxa de infiltração e infiltração acumulada e respectivas variações médias ao longo das regas nos sulcos rectilíneos declivosos

Na figura 4.25 é possível visualizar o aumento da taxa de infiltração e da infiltração acumulada nos sulcos tratados ao longo de todas as regas.

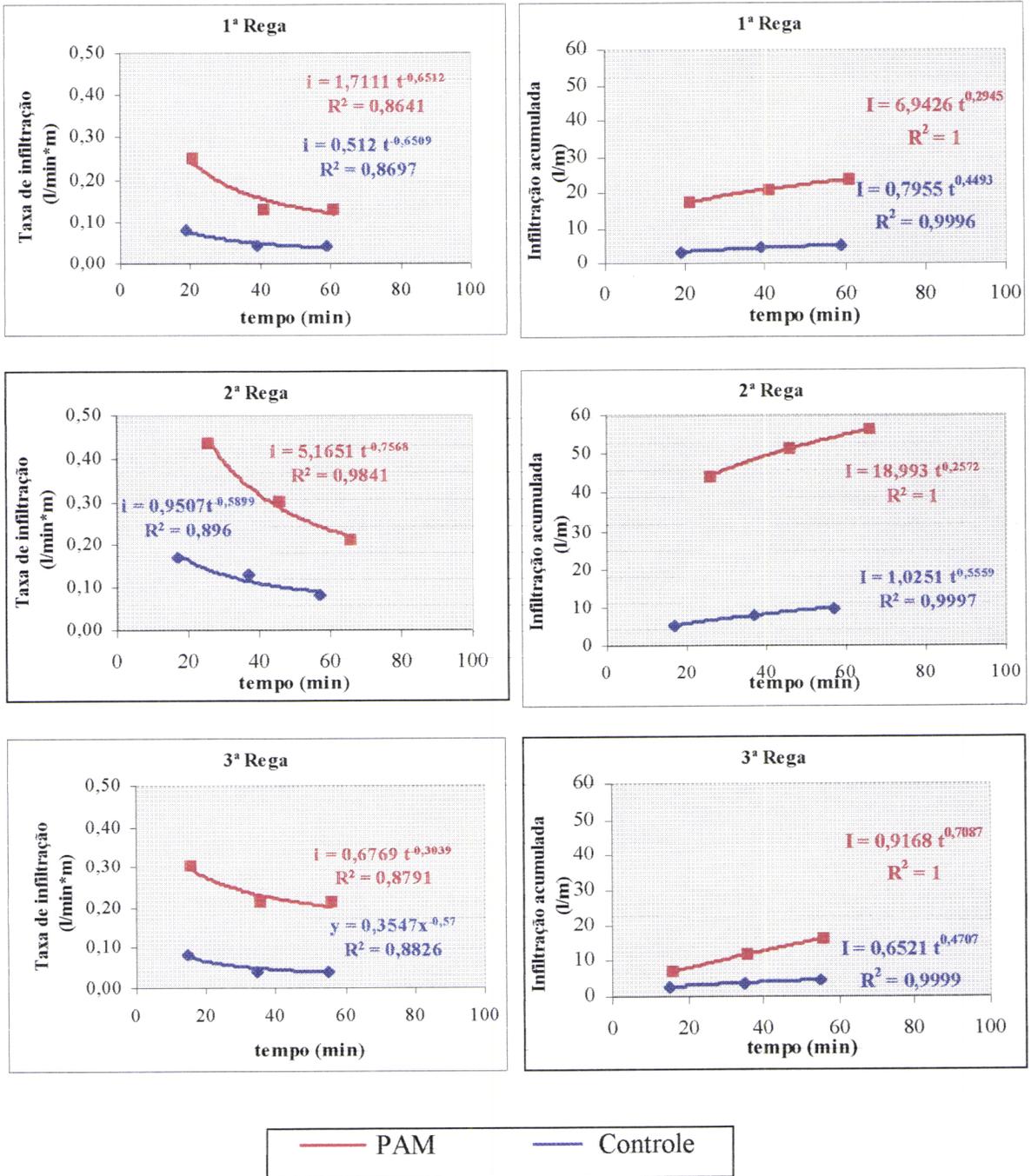


Figura 4.25 Taxa de infiltração e infiltração acumulada média nos sulcos controle e tratados nas regas monitorizadas do bloco tradicional

Na observação da figura 4.25 verifica-se que a infiltração mais elevada em ambos tipos de sulcos foi obtida na 2ª rega, o que não era em princípio previsto, e baixa drasticamente também em ambos tipos de sulcos na 3ª rega. Esta rápida diminuição da infiltração logo na 3ª rega, deve-se provavelmente à formação de crosta superficial e diminuição de permeabilidade do solo.

Na análise estatística efectuada não se verificaram diferenças significativas entre as regas mas verificaram-se diferenças significativas entre os tratamentos a 1% para a taxa de infiltração (ver anexo E<sub>3</sub>).

Na infiltração acumulada, apesar da discrepância entre os valores obtidos não se verificaram diferenças significativas nem entre as regas, nem entre os tratamentos, o que pode ter resultado do facto da amostra ser demasiado pequena. Para confirmar esta hipótese realizou-se uma análise de variância a uma amostra mais alargada, que consistiu na utilização dos valores obtidos nas 3 recolhas efectuadas em cada rega, para as 3 regas realizadas. Nesta análise as diferenças entre as regas e recolhas não são significativas, mas tal como se suspeitava as diferenças entre os tratamentos são significativas a 1% (ver anexo E<sub>4</sub>).

#### **4.6 Alteração da forma do perfil dos sulcos ao longo das regas**

A forma do perfil dos sulcos vai-se alterando ao longo da rega com a evolução do processo erosivo, com escavação nas zonas de destacamento e diminuição da profundidade nas zonas de deposição. Segundo Trout e Neibling, (1993), na descrição do modelo de erosão nos sulcos ao longo de uma rega, o destacamento é pronunciado na zona de cabeceira, esperando-se portanto, perfis mais escavados, e a deposição inicia-se a meio do sulco e é acentuada na extremidade do sulco, onde se esperam, no final da rega, perfis com menor profundidade.

Ao longo de várias regas, mantendo o mesmo caudal, espera-se em princípio que a escavação na zona da cabeceira vá diminuindo com a diminuição da erodibilidade do solo, e com a diminuição da erodibilidade, se verifique um aumento da capacidade de transporte e conseqüentemente o aumento da probabilidade de escavação a meio do sulco, prevalecendo a deposição no final dos sulcos.

Na alteração da forma do perfil ao longo de várias regas, em sulcos com caudal variável decrescente, espera-se, em princípio, um aumento de zonas de deposição, uma

vez que a diminuição da erodibilidade do solo é neste caso paralela à diminuição da capacidade de transporte do escoamento.

Para verificar a alteração da forma do perfil, em ambos blocos do ensaio, ao longo do comprimento total do sulco e ao longo de várias regas, os perfis foram medidos com um perfilómetro de réguas, antes da rega, após 12 horas da 1ª rega, da 4ª e 5ª rega. No caso do bloco de sulcos rectilíneos e declivosos foi apenas possível antes da rega e após a 1ª rega.

#### ***4.6.1 Alteração da forma do perfil nos sulcos de contorno***

A alteração da forma do perfil após a 1ª rega, foi bastante demarcada nos sulcos controle, verificando-se uma nítida diminuição do perfil do sulco ao longo de todo o seu comprimento, como se pode constatar na figura 4.26. A diminuição do perfil na zona de cabeceira, não era princípio esperado, uma vez que os caudais da 1ª rega variaram entre 2.7 a 1.7 l/s, privilegiando portanto, a escavação desta zona. No entanto, como a rega teve a duração de apenas 1 hora, é provável que a elevada quantidade de sedimentos no escoamento resultante da desagregação, depositasse ao longo do comprimento do sulco, com a súbita diminuição da capacidade de transporte ao fim de uma hora.

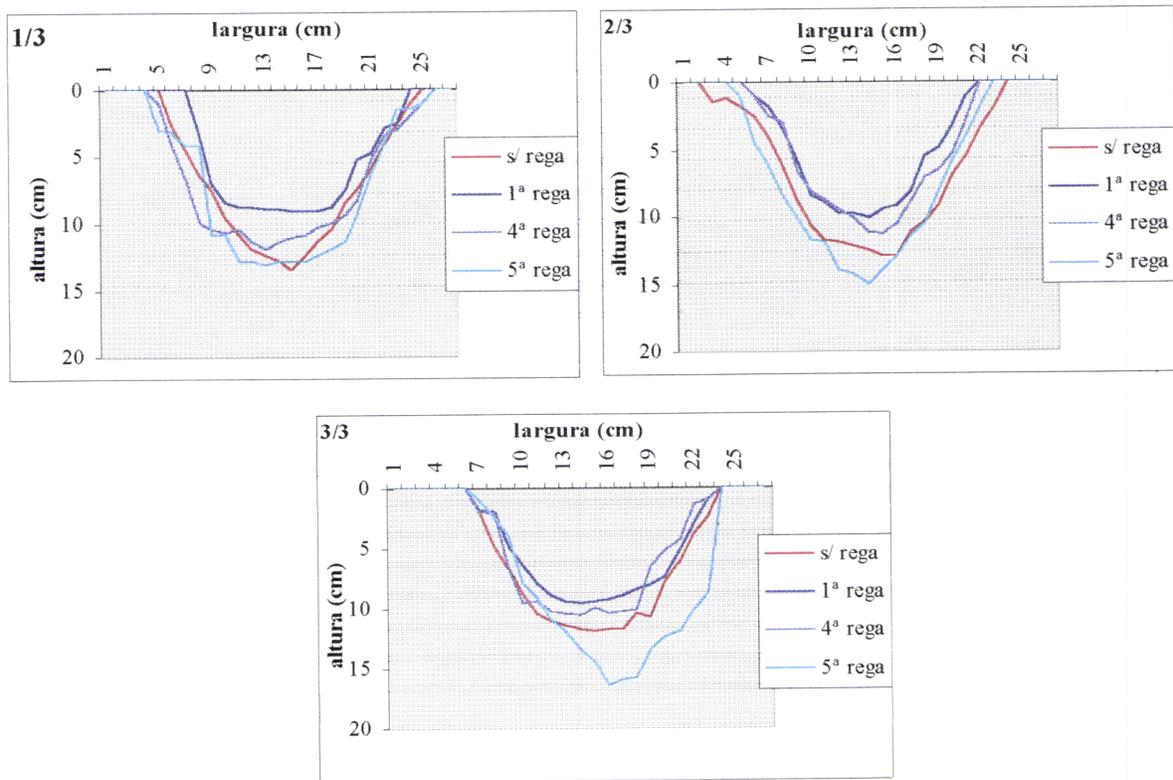


Figura 4.26 Comparação da evolução do perfil ao longo de um sulco controle do bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas

Entre a 1ª e a 4ª rega, apesar do caudal ter diminuído para 1.4 a 1.15 l/s ao longo da 4ª rega, verificou-se um aumento do perfil devido à escavação do fundo e paredes do sulco. Este aumento do perfil foi considerável na zona de cabeceira e pouco pronunciado a meio e no fim do sulco, como se pode observar na figura 4.26. A escavação da cabeceira dos sulcos era o resultado esperado.

Na 5ª e última rega monitorizada, o aumento do perfil do sulco continuou a verificar-se no sulco controle. Na figura 4.26, é possível constatar que a escavação na zona de cabeceira foi predominante no fundo do sulco, a 2/3 do sulco verificou-se no fundo e na zona lateral esquerda, (zona côncava do sulco) e na extremidade do sulco constata-se uma escavação considerável do fundo e parede lateral do sulco.

A erodibilidade do solo vai diminuindo ao longo do tempo, e nos sulcos de contorno, é acompanhada por uma diminuição da erosividade com a diminuição progressiva do caudal, assim, na última rega monitorizada esperava-se uma diminuição do perfil ao longo do sulco. Contudo, curiosamente o caudal da 5ª rega foi de 1.5 a 1.2 l/s, e

portanto, superior ao verificado na 4ª rega, possibilitando uma maior erosão em toda a extensão do sulco. Estes resultados são confirmados pelos valores de perda de solo obtidos a 2/3 e na extremidade do sulco na 5ª rega, superiores aos quantificados na 4ª rega.

Nos sulcos tratados a rápida floculação das partículas e o aumento da estabilidade dos agregados preveniram uma alteração pronunciada do perfil, tal como se esperava. A estabilização proporcionada pela aplicação de PAM, foi eficaz mesmo na zona de cabeceira, mantendo, após a 1ª rega, a forma do perfil praticamente igual à sua forma original. Ao longo das secções consideradas, a forma do perfil após a 1ª rega manteve-se também, aproximadamente idêntica à forma original, antes da rega, como se pode constatar na figura 4.27.

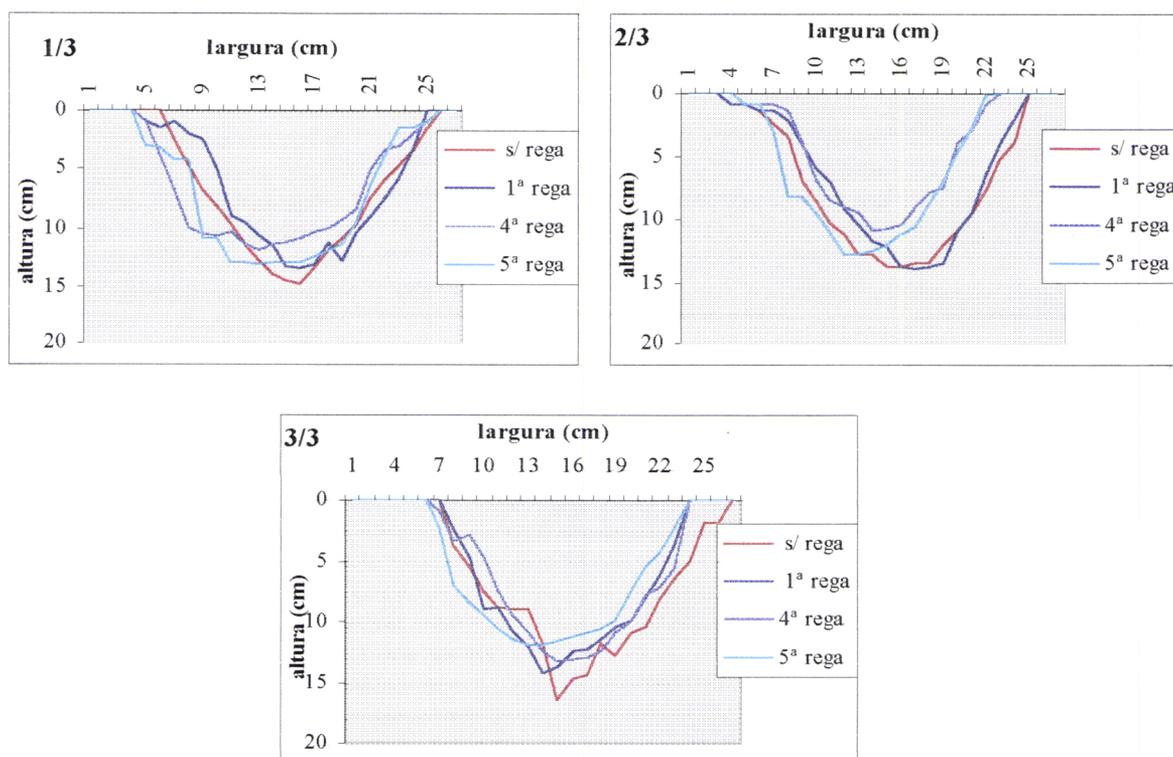


Figura 4.27 Comparação da evolução do perfil ao longo de um sulco tratado de contorno ao longo das regas monitorizadas

No sulco tratado verificou-se, ao contrário do sulco controle, uma diminuição do perfil do sulco entre a 1ª e a 4ª rega. A diminuição do perfil, foi pouco pronunciada na zona de cabeceira e bastante acentuada a meio do sulco, como se pode constatar na figura 4.27. No final do sulco a forma do perfil manteve-se aproximadamente igual à forma que tinha após a 1ª rega. A diminuição do perfil na zona de cabeceira e no meio do sulco revela a existência de deposição das partículas antes de atingirem a extremidade do sulco, o que é um forte indicador da eficácia de PAM na estabilização do solo.

Esta diminuição do perfil a meio do sulco é prevista no modelo de distribuição da erosão nos sulcos, se considerarmos o modelo, a zona de deposição inicia-se a meio do sulco. A acentuada deposição verificada a 2/3 do comprimento total do sulco, é ainda explicada, pelo facto dos sulcos serem de contorno e a curvatura se verificar precisamente a meio do sulco, privilegiando portanto, a deposição devido à diminuição da erosividade do caudal imposta pela forma do sulco. É curioso ainda, denotar que a diminuição do perfil a 2/3 do sulco, se verificou precisamente do lado direito do sulco, que é a zona convexa do sulco que funciona como obstáculo e proporciona a diminuição da erosividade, como se pode constatar na figura 4.27.

O aumento da erosividade do caudal da 4ª para a 5ª rega foi também evidente, no início e a meio do sulco, verificando-se escavação, e conseqüentemente um aumento do perfil. Contudo, a aplicação de PAM continuou eficaz na extremidade do sulco, onde é possível constatar a deposição de material, uma vez que o perfil do sulco diminuiu, como se pode observar na figura 4.27.

#### *4.6.2 Alteração da forma do perfil nos sulcos rectilíneos declivosos*

Como já foi referido anteriormente, nos sulcos de mobilização tradicional, foi apenas possível verificar as alterações da forma do perfil antes e depois da 1ª rega.

Nos sulcos controle verificou-se após a 1ª rega, um alargamento da forma do perfil na zona de cabeceira e na extremidade dos sulcos e escavação do perfil a meio do sulco, ao contrário da distribuição prevista pelo modelo de erosão nos sulcos, como se pode observar na figura 4.28.

Nos sulcos tratados, apesar da elevada erosividade de um caudal de 1.7 l/s e um declive médio de 1.6%, a escavação verificou-se apenas na zona de cabeceira. A 2/3 do comprimento do sulco, a forma manteve-se aproximadamente igual à forma original e a 3/3 constata-se uma diminuição do perfil devido à deposição de material de solo, o que denota a eficácia da aplicação de PAM, como se pode constatar na figura 4.28. A alteração do perfil nos sulcos tratados verifica-se de acordo com o modelo de distribuição de erosão.

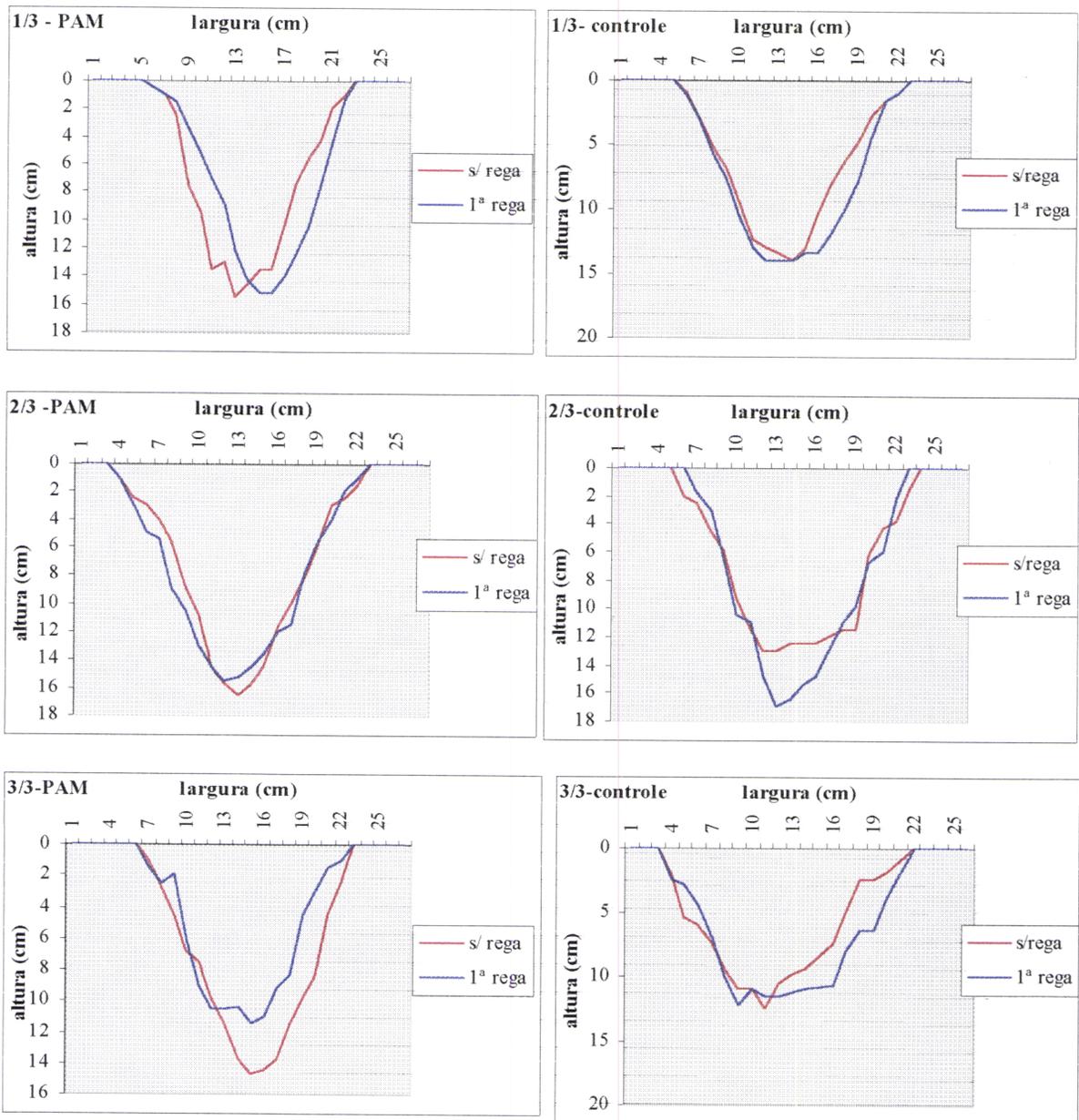


Figura 4.28 Comparação da evolução do perfil após a 1ª rega ao longo de um sulco de controle e num sulco tratado no bloco de sulcos rectilíneos declivosos

*Capítulo 5*

*Conclusões*

## 5. Conclusões

A aplicação de pequenas concentrações de PAM na água de rega das primeiras regas, foi eficaz no controle da erosão e aumento da infiltração, em ambos os sistemas considerados, sulcos de contorno e sulcos de mobilização tradicional. Nos sulcos de contorno, apesar de ser um reconhecido sistema de conservação do solo, como já foi referido, a aplicação total de 0.4 kg/ha/época de PAM, na água de rega das primeiras 5 regas, permitiu ainda um controle da perda de solo de 84.4 a 95.1% e um aumento da taxa de infiltração de 13.3 a 52.7%. Na análise estatística realizada, verificou-se existirem diferenças significativas na perda de solo ( $p = 0.033$ ) e na taxa de infiltração ( $p = 0.04$ ), entre os sulcos tratados e os sulcos controle. Os resultados relativos à redução da perda de solo foram semelhantes aos verificados por Lentz e Sojka, (1996), em sulcos com mobilização tradicional, com aplicações médias de PAM de 0.9 kg/ha/época. Contudo, os aumentos de infiltração foram superiores aos observados por estes autores.

Nos sulcos retilíneos de declive acentuado, a aplicação de PAM na água de rega foi realizada apenas nas primeiras três regas. O controle proporcionado pelo tratamento foi mais eficaz que o observado nos sulcos de contorno. A aplicação total de PAM de 0.7 kg/ha/época, permitiu uma redução de 95.87 a 99.28% da perda de solo e um aumento da taxa de infiltração de 58.06 a 79.17%. Apesar do elevado controle da taxa de erosão proporcionado pelo tratamento não se verificaram diferenças significativas na perda de solo entre os tratamentos, o que se deve provavelmente ao reduzido tamanho da amostra. Na análise estatística dos resultados de infiltração, as diferenças entre os sulcos tratados e controle, foram significativas a 1%.

Apesar dos resultados de redução de perda de solo terem sido também idênticos aos verificados em vários ensaios realizados por Lentz e Sojka, (1996), o aumento de infiltração foi consideravelmente superior ao obtido por estes autores.

No ensaio realizado em terraços de contorno, verificou-se que a erosão induzida na rega por sulcos segue o modelo de distribuição da erosão, descrito por Trout e Neibling, (1993), com concentrações de sedimentos muito elevadas na cabeceira dos sulcos que vão decrescendo ao longo do comprimento do sulco, confirmando-se assim, o modelo de distribuição de erosão nos sulcos. Contudo, a diferença entre a perda de solo na extremidade e a concentração de sedimentos no início e meio dos sulcos, não é significativa ( $p > 0.1$ ). O tratamento dos sulcos com poliacrilamida aniônica,

proporcionou um aumento da estabilidade dos agregados e uma rápida floculação das partículas em suspensão, desde o início do sulco. A redução da concentração de sedimentos no escoamento nos sulcos tratados variou de 30.29 a 100% no início dos sulcos a 73.02 a 100% a meio do comprimento do sulco.

Nos sulcos rectilíneos de declive acentuado, a erosão não se verifica de acordo com o modelo de distribuição, uma vez que a perda de solo na extremidade do sulco é semelhante à concentração de sedimentos verificada no início dos sulcos. Na segunda rega, verifica-se que o destacamento de solo na cabeceira do sulco foi, ao contrário do que se pressupõem no modelo, inferior a perda de solo verificada na extremidade do sulco. Contudo, o facto da distribuição da erosão não se verificar neste sistema de rega, de acordo com o modelo de distribuição, pode dever-se ao facto do declive não ser homogéneo e à elevada erosividade de um caudal elevado em declive acentuado.

O controle da erosão proporcionado pelo tratamento com PAM foi também, nestes sulcos, imediatamente perceptível desde a cabeceira dos sulcos, onde a redução da concentração de sedimentos no escoamento variou entre 87.61 a 100%, contudo a diferença entre os tratamentos não foi significativa, o que tal como na análise da perda de solo, se deve ao reduzido tamanho da amostra.

No modelo de distribuição de erosão, pressupõe-se ainda que a erosão seja decrescente ao longo do tempo. O decréscimo verificado ao longo de uma rega deriva, em princípio, da diminuição da erosividade devido ao decréscimo do caudal à medida que a água se vai infiltrando, ao longo de várias regas resulta em princípio, da diminuição da erodibilidade do solo. Contudo, nos sulcos de contorno, à semelhança do que se verificou em ensaios realizados por Trout e Neibling, (1993), a perda de solo da segunda rega, foi superior à verificada na primeira. Mas suprimindo a primeira rega, verifica-se que o decréscimo da perda de solo ao longo das várias regas monitorizadas é do tipo logarítmico. Decréscimos de perda de solo, com funções logarítmicas ao longo do tempo, foram também observadas por Kabir e King, (1981) (citados por Trout e Neibling, 1993), como resultado do decréscimo de erodibilidade ao longo do tempo.

Este decréscimo da erodibilidade ao longo do tempo é também explicado pela alteração verificada na textura dos sulcos controle neste bloco, uma vez que após as cinco regas realizadas, verificou-se um aumento considerável da quantidade de areia ao longo de todo o comprimento do sulco, comparativamente ao sulco tratado. Este facto provoca uma diminuição da erodibilidade, já que as partículas de areia são as de maiores dimensões, e portanto mais difíceis de transportar.

Nos sulcos rectilíneos declivosos o decréscimo da perda de solo ao longo das várias regas, verifica-se segundo uma curva do tipo exponencial. Segundo, Foster e Lane, (1993) (citados por Trout e Neibling, 1993), decréscimos deste tipo são justificados pelo alargamento da forma do sulco e pela diminuição da força de corte. Esta explicação confirma-se de certa forma, na alteração verificada na forma do perfil dos sulcos rectilíneos declivosos, com escavação pronunciada a meio e na extremidade do sulco logo após a primeira rega.

Nos sulcos tratados de contorno é curioso denotar que o decréscimo da perda de solo e transporte de sedimentos ao longo do tempo é, em todas as secções do sulco consideradas, uma função do tipo logarítmico. Nos sulcos controle de contorno o decréscimo é logarítmico na extremidade e exponencial na zona de cabeceira.

Nos sulco rectilíneos declivosos o decréscimo é sempre exponencial para os sulcos controle. Nos sulcos tratados o decréscimo é uma função do tipo logarítmico a  $1/3$  e exponencial na extremidade dos sulcos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Aarstad, J. S., e D.E. Miller,** 1981. *Effects of Small Amounts of Residue on Furrow Erosion*. Soil Sci. Soc. Am. J., 45, 116-118

**Baker, D.B.,** 1996. *Water Resources*. McGRAW-HILL Yearbook of Science and Technologie

**Barvenik, F. W.; R. E., Sojka; R. D., Lentz; F. F. Andraes; L. S. Messner; CYTEC INDUSTRIES;USDA-ARS,** 1996. *Fate of Acrylamide Monomer Following Application of Polyacrylamide to Cropland*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide”. University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Ben-Hur, M.; M., Malik; J., Letey; U., Mingelrin,** 1992. *Adsorption of Polimers on Clays as Affected by Clay Charge and Structure, Polimer Properties and Water Quality* Soil Science vol.153 (5), 349-356

**Bicerano, J.** 1994. *Predicting Key Polymer Properties to Reduce Erosion in Irrigated Soil* . Soil Science. October, vol. 158 nº 4

**Brown, M.J., W.D. Kemper, T.J. Trout e A.S. Humpherys,** 1988. *Sediment, Erosion and Water Intake in Furrows*. Irrigation Science, 9, 45-55

**Carter, D.L.,** 1993. *Furrow irrigation lowers soil productivity*. Journal of Irrigation and Drainage Engeneering, ASCE, 119 (6), 964-974

**Chamberlain, P.; , R. E., Cole,** 1996. *Influence of Structure and Formulation on the Efficacy of Polyacrylamides as Soil Stabilisers*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Cook, D. F.; S. D., Nelson,** 1986. *Effect of Polyacrylamide on Seedling Emergence in Crust Forming Soils*. Soil Science. vol.141 nº 5 (328-333)

**Costa, J.B.**, 1985. *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Caloust Gulbenkian. Lisboa

**Daeson, L.J.; T. L., Spofford; R. L., Pfeiffer**, 1996. *The Physical Effects of Polyacrylamide on Natural Resources*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**De Boodt, M.**, 1972. *Improvement of Soil Structure by Chemical Means*. HILLEL, D (Editor), “Optimizing the Soil Physical Environmental Foward Greater Crop Yields”. New York & London Academic Press, (pg.43-55)

**De Boodt, M.**, 1993. *Soil Conditioning, A Modern Procedure for Restoring Physical Soil Degradation*. Pedology, XLII-1, p157-195, university of Ghent. Belgium

**Deskin, R.; Cytec Industries**, 1996 *Product Stewardship Considerations in the Use of Polyacrylamides in Soil Erosion Applications*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide”. University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Eisenhauer, D.E.; , D.F., Heermenn; A., Klute**, 1992. *Surface Sealing Effects on Infiltration with Surface Irrigation*. Transactions of the ASAE vol.35 nº6: 1799-1807

**Ferreira, A.G.**, 1993. *Effect of Soil Conditioners on Soil Loss and Runoff* . Universidade de Évora circlostilado)

**Helalia, A. M.; J., Letey**, 1988. *Polymer Type and Water Quality Effects on Soil Dispersion*. Soil Science American Journal 52:243-246

**Kemper, W.D., T.J. Trout, M. J. Brown e R.C. Roseneau**, 1985. *Furrow Erosion and Soil Management*. Transactions of the ASAE, 28 (5), 1564-1572

**Koluek, P. K., K. K. Tanji e T.J. Trout**, 1993. *Overview of Soil Erosion and Irrigation*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 119(6), 929-945

**Lentz, R.D.; L., Shainberg; R. E., Sojka e D. L. Carter**, 1992. *Preventing Irrigation Furrow Erosion with Samll Applications of Polimers*. Soil Science American Journal vol.56 (1926-1932)

**Lentz, R.D.; R. E., Sojka**, 1996. *Five Year Research Summary Using PAM in Furrow Irrigation*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Lentz, R.D.; R. E., Sojka**, 1996. *PAM Conformation Effects on Furrow Erosion Mitigation Efficacy*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Lentz, R.D.; R. E., Sojka; J. A., Foerster**, 1996. *Estimating Polyavrylamide Concentration in Irrigation Water*. J. Environ. Qual. vol.25:1015-1024

**Letey**, 1996. *Effective Viscosity of PAM Solutions Through Porous Media* Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Letey, J.**, 1994. *Adsorption and Desorption of Polymers on Soil*. Soil Science, vol. 158 nº4 (244-248)

**McElhiney, M.; P., Osterli, P.**, 1996. *An Approach for Water Quality: The PAM connection-West Stanislaus HUA, CA*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Miguens, M.F.**,1997. *Estudo da erosividade da rega em sulcos declivosos*. Tese apresentada na Universidade de Évora para a obtenção do grau de mestre. Évora

**Mitchell, A. R.**, 1986. *Polyacrylamide Application in Irrigation Water to Increase Infiltration*. Soil Science vol.141, nº5 (353-358)

**Mitchell, J.K.; C., Ray; G.F., McIsaac; J. G., O'Brien**, 1996. *Land Treatment Effects on Soil Erosion* Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96. Idaho

**Morgan, R.P.C.**, 1995. *Erosion and Conservation*. Longman Group Limited 1995. Second edition. London

**Page, E.R.,19??**, *Fresh Interest in Soil Conditioners*. University Stirling Scotland

**Roa, A.**, 1996. *Screening of Polymers to Determine their Potencial Use in Erosion Control on Construction Sites*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication nº101-96 Idaho.

**Serralheiro, R.P.**, 1996. *Modernização e desenvolvimento da rega de superficie*. Publicações “Universidade de Évora”, série “Ciências Agrárias, nº2, Évora.

**Serralheiro, R.P.**, 1997. *Perspectiva da agricultura de regadio em Portugal*. Publicações “Universidade de Évora”, série “Ciências Agrárias, nº5, Évora.

**Serralheiro, R.P., A. Bettencourt; J.P.A., Fernandes; J.M. Carvalho; P. Pinto**, 1997. *Recursos hídricos do Alentejo, perrspectivas de utilização duradoura*. Publicações “Universidade de Évora”, série “Ciências da Natureza e Ambiente, nº1, Évora.

**Shahidian, S.**, 1996. *Desenvolvimento, por Automatização, dum Sistema de Cabo-Rega*. Tese apresentada na Universidade de Évora para a obtenção do grau de mestre. Évora

**Sojka, R. E., R. D. Lentz e J. A. Foerster**, 1994. *Software utilizing Imhoff cone volumes to estimate furrow-irrigation erosion*. J. Soil Water Cons. 49 (400-406)

**Sojka, R.E.**, 1997. *Research contribution to the understanding and management of irrigation-induced erosion*. 50<sup>th</sup> anniversary symposium on Soil Conservation Research, J. Soil and Water Conservation special publication (ed. F.J. Pierce)

**Sojka, R.E. e R. D. Lentz**, 1996. *A PAM Primer: A brief history of PAM and PAM-related issues*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication n°101-96. Idaho

**Sojka, R.E.; D.L., Carter; , M.J., Brown**, 1992. *Imhoff Cone Determination of Sediment in Irrigation Runoff*. Soil Sci. Soc. Am. J. vol. 56, n° 3

**Sojka, R.E.; R. D., Lentz; C. W. Ross; T. J., Trout**, 1996. *Net Tension Infiltration Effects of PAM in Furrow Irrigation* Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication n°101-96. Idaho

**Stieber, T. e H., Chapaman-Supkis**, 1996. *Practical Field Application and PAM Transport in Surface Irrigation* Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication n°101-96. Idaho

**Terry, R.E.; S. D., Nelson**, 1986. *Effects of Polyacrylamide and Irrigation Method on Soil Physical Proprieties*. Soil Science vol. 141 n°5: 317-320

**Trout, T. J.**, 1991. *Furrow Geometric Parameters*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 117(5), 613-633

**Trout, T. J.**, 1992. *Flow Velocity and Wetted Perimeter Effects on Furrow Infiltration*. Transactinos of ASAE, 35(3), 855-862

**Trout, T. J.**, 1996 *Furrow Irrigation Erosion and Sedimentation On-Field Distribution*. Transactions of the ASAE, vol. 39 (5): 1707-1723. American Society of Agricultural Engineers

**Trout, T. J., e W. H. Neibling,** 1993. *Erosion and Sedimentation Processes on Irrigation Fields*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 119(6), 947-963

**Trout, T. J.; R.E.Sojka; R.D. Lentz,** 1995 *Polyacrylamide Effect on Furrow Erosion and Infiltration*. Transactions of the ASAE, vol. 38(3): 761-765. American Society of Agricultural Engineers

**Wallace, A. ; A. M. Abouzamzam,** 1986. *Interactions of Soil Conditioner With Other Limiting Factors to Achieve Crop Yields*. Soil Science vol.141 n°5 : 343-345

**Wallace, A.; G., Wallace,** 1986. *Effects of Very Low Rates of Synthetic Soil Conditioners on Soils*. Soil Science vol. 141 n°5: 324-327

**Wallace, A.; G., Wallace,** 1996. *Need for Solution or Exchangeable Calcium and/or EC level for Flocculation of Clay by Polyacrylamides*. Conferência em “Managing Irrigation-Induce Erosion and Infiltration with Polyacrylamide” University of Idaho Miscellaneous Publication n°101-96. Idaho

**Wallace, A.; G., Wallace; A. M. Abouzamzam,** 1986. *Effects of Excess Levels of a Polymer as a Soil Conditioner on Yields and Mineral Nutrition of Plants*. Soil Science vol.141 n°5 : 377-380

**Wallace, A.; G., Wallace; A. M. Abouzamzam,** 1986. *Effects on Soil Conditioners on Water Relationships in Soils*. Soil Science vol.141 n°5 : 346-351

**Wallace, A.; G., Wallace,** 1986. *Control of Soil Erosion by Polyacrylamide Soil Conditioners*. Soil Science vol.141, n°5 : 363-367

**Wild, A.,** 1993. *Soils and the Environment, an introduction*. Cambridge University Press. Cambridge

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**CÁLCULO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO DE PAM**

ANEXO A1

Cálculo das taxas de aplicação de PAM nos sulcos de contorno com 220 m

# Regas	Caudal de	Concentração de	Concentração de	Concentração de	PAM	PAM	Taxa	PAM	# Reps.	PAM	TOTAL DE
	Entrada (l/min)	PAM na Solução	PAM (activa) na	PAM no Sulco (ppm)	Taxa de	de Injecção (min)	necessário por	necessário por		necessário por	PAM nec.
		(ppm)	Solução (ppm)		injecção		sulco (l)	tratamento (l)		tratamento (g)	dissolver por
					(ml/min)						tratamento (g)
1ª	162,00	3000	2400	10,00	675,00	20	13,50	1	13,50	40,50	
	147,00	3000	2400	10,00	612,50	20	12,25	1	12,25	36,75	
	102,00	3000	2400	10,00	425,00	20	8,50	1	8,50	25,50	
<b>TOTAL</b>							<b>34,25</b>	<b>1</b>	<b>34,25</b>	<b>102,75</b>	

# Regas	Caudal de	Concentração de	Concentração de	Concentração de	PAM	PAM	Taxa	PAM	# Reps.	PAM	TOTAL DE
	Entrada (l/min)	PAM na Solução	PAM (activa) na	PAM no Sulco (ppm)	Taxa de	de Injecção (min)	necessário por	necessário por		necessário por	PAM nec.
		(ppm)	Solução (ppm)		injecção		sulco (l)	tratamento (l)		tratamento (g)	dissolver por
					(ml/min)						tratamento (g)
2ª	135,00	3000	2400	10,00	562,50	20	11,25	1	11,25	33,75	
	123,00	3000	2400	10,00	512,50	20	10,25	1	10,25	30,75	
	66,60	3000	2400	10,00	277,50	20	5,55	1	5,55	16,65	
<b>TOTAL</b>							<b>27,05</b>	<b>1</b>	<b>27,05</b>	<b>81,15</b>	

# Regas	Caudal de	Concentração de	Concentração de	Concentração de	PAM	PAM	Taxa	PAM	# Reps.	PAM	TOTAL DE
	Entrada (l/min)	PAM na Solução	PAM (activa) na	PAM no Sulco (ppm)	Taxa de	de Injecção (min)	necessário por	necessário por		necessário por	PAM nec.
		(ppm)	Solução (ppm)		injecção		sulco (l)	tratamento (l)		tratamento (g)	dissolver por
					(ml/min)						tratamento (g)
3ª	102,00	3000	2400	10,00	425,00	20	8,50	1	8,50	25,50	
	96,00	3000	2400	10,00	400,00	20	8,00	1	8,00	24,00	
	90,00	3000	2400	10,00	375,00	20	7,50	1	7,50	22,50	
<b>TOTAL</b>							<b>24,00</b>	<b>1</b>	<b>24,00</b>	<b>72,00</b>	

# Regas	Caudal de	Concentração de	Concentração de	Concentração de	PAM	PAM	Taxa	PAM	# Reps.	PAM	TOTAL DE
	Entrada (l/min)	PAM na Solução	PAM (activa) na	PAM no Sulco (ppm)	Taxa de	de Injecção (min)	necessário por	necessário por		nec. por	PAM nec.
		(ppm)	Solução (ppm)		injecção		sulco (l)	tratamento (litros)		tratamento	dissolver por
					(ml/min)			(litros)			tratamento (g)
4ª	84,00	3000	2400	10,00	350,00	20	7,00	1	7,00	21,00	
	78,00	3000	2400	10,00	325,00	20	6,50	1	6,50	19,50	
	69,00	3000	2400	10,00	287,50	20	5,75	1	5,75	17,25	
<b>TOTAL</b>							<b>19,25</b>	<b>1</b>	<b>19,25</b>	<b>57,75</b>	

# Regas	Caudal de	Concentração de	Concentração de	Concentração de	PAM	PAM	Taxa	PAM	# Reps.	PAM	TOTAL DE
	Entrada (l/min)	PAM na Solução	PAM (activa) na	PAM no Sulco (ppm)	Taxa de	de Injecção (min)	necessário por	nec. por		nec. por	PAM nec.
		(ppm)	Solução (ppm)		injecção		sulco (l)	tratamento (litros)		tratamento	dissolver por
					(ml/min)			(litros)			tratamento (g)
5ª	92,40	3000	2400	10,00	385,00	20	7,70	1	7,70	23,10	
	87,60	3000	2400	10,00	365,00	20	7,30	1	7,30	21,90	
	72,00	3000	2400	10,00	300,00	20	6,00	1	6,00	18,00	
<b>TOTAL</b>							<b>21,00</b>	<b>1</b>	<b>21,00</b>	<b>63,00</b>	

**ANEXO A2**

**Cálculo das taxas de aplicação de PAM nos sulcos de contorno de 160 m**

# Regas	Caudal de Entrada (l/min)	Concentração de PAM na Solução (ppm)	Concentração de PAM (activa) na Solução (ppm)	Concentração de PAM no Sulco (ppm)	PAM Taxa de injeção (ml/min)	PAM Taxa de injeção (min)	PAM necessário por sulco (l)	# Reps.	PAM necessário por tratamento (l)	TOTAL DE PAM nec. dissolver por tratamento (g)
1ª	174,00	3000	2400	10,00	725,00	20	14,50	1	14,50	43,50
	150,00	3000	2400	10,00	625,00	20	12,50	1	12,50	37,50
	102,00	3000	2400	10,00	425,00	20	8,50	1	8,50	25,50
<b>TOTAL</b>							<b>35,50</b>	<b>1</b>	<b>35,50</b>	<b>106,50</b>

# Regas	Caudal de Entrada (l/min)	Concentração de PAM na Solução (ppm)	Concentração de PAM (activa) na Solução (ppm)	Concentração de PAM no Sulco (ppm)	PAM Taxa de injeção (ml/min)	PAM Taxa de injeção (min)	PAM necessário por sulco (l)	# Reps.	PAM necessário por tratamento (l)	TOTAL DE PAM nec. dissolver por tratamento (g)
2ª	102,00	3000	2400	10,00	425,00	20	8,50	1	8,50	25,50
	96,00	3000	2400	10,00	400,00	20	8,00	1	8,00	24,00
	90,00	3000	2400	10,00	375,00	20	7,50	1	7,50	22,50
<b>TOTAL</b>							<b>24,00</b>	<b>1</b>	<b>24,00</b>	<b>72,00</b>

# Regas	Caudal de Entrada (l/min)	Concentração de PAM na Solução (ppm)	Concentração de PAM (activa) na Solução (ppm)	Concentração de PAM no Sulco (ppm)	PAM Taxa de injeção (ml/min)	PAM Taxa de injeção (min)	PAM necessário por sulco (l)	# Reps.	PAM necessário por tratamento (l)	TOTAL DE PAM nec. dissolver por tratamento (g)
3ª	84,00	3000	2400	10,00	350,00	20	7,00	1	7,00	21,00
	78,00	3000	2400	10,00	325,00	20	6,50	1	6,50	19,50
	69,00	3000	2400	10,00	287,50	20	5,75	1	5,75	17,25
<b>TOTAL</b>							<b>19,25</b>	<b>1</b>	<b>19,25</b>	<b>57,75</b>

# Regas	Caudal de Entrada (l/min)	Concentração de PAM na Solução (ppm)	Concentração de PAM (activa) na Solução (ppm)	Concentração de PAM no Sulco (ppm)	PAM Taxa de injeção (ml/min)	PAM Taxa de injeção (min)	PAM necessário por sulco (l)	# Reps.	PAM necessário por tratamento (l)	TOTAL DE PAM nec. dissolver por tratamento (g)
4ª	57,60	3000	2400	10,00	240,00	20	4,80	1	4,80	14,40
	54,60	3000	2400	10,00	227,50	20	4,55	1	4,55	13,65
	46,80	3000	2400	10,00	195,00	20	3,90	1	3,90	11,70
<b>TOTAL</b>							<b>13,25</b>	<b>1</b>	<b>13,25</b>	<b>39,75</b>

# Regas	Caudal de Entrada (l/min)	Concentração de PAM na Solução (ppm)	Concentração de PAM (activa) na Solução (ppm)	Concentração de PAM no Sulco (ppm)	PAM Taxa de injeção (ml/min)	PAM Taxa de injeção (min)	PAM necessário por sulco (l)	# Reps.	PAM necessário por tratamento (l)	TOTAL DE PAM nec. dissolver por tratamento (g)
4ª	56,40	3000	2400	10,00	235,00	20	4,70	1	4,70	14,10
	51,60	3000	2400	10,00	215,00	20	4,30	1	4,30	12,90
	43,80	3000	2400	10,00	182,50	20	3,65	1	3,65	10,95
<b>TOTAL</b>							<b>12,65</b>	<b>1</b>	<b>12,65</b>	<b>37,95</b>

**ANEXO A3**

**Cálculo das taxas de aplicação de PAM nos sulcos de mobilização tradicional rectilíneos de declive acentuado**

# Regas	Caudal de Entrada  (l/min)	Concentração de PAM na Solução (ppm)	Concentração de PAM (activa) na Solução (ppm)	Concentração de PAM no Sulco (ppm)	PAM Taxa de injecção  (ml/min)	PAM Taxa de injecção  (min)	PAM necessário por sulco  (l)	# Reps.	PAM necessário por tratamento  (l)	TOTAL DE PAM nec. dissolver por tratamento  (g)
1ª	102,00	3000	2400	10,00	425,00	20	8,50	1	8,50	25,50
2ª	102,00	3000	2400	10,00	425,00	20	8,50	1	8,50	25,50
3ª	102,00	3000	2400	10,00	425,00	20	8,50	1	8,50	25,50
<b>TOTAL</b>							<b>25,50</b>	<b>1</b>	<b>25,50</b>	<b>76,50</b>

## ANEXO A4

### Quantidade total de PAM aplicada por hectare e por época

Bloco de Terraços de Contorno

Comprimento dos sulcos (m)  
     220                      160  
 Espaço entre linhas (m)  
     1,5  
 Sulcos tratados  
     3  
 Número total de regas efectuadas  
     30

<b>Terraços de contorno</b>		
<b>Quantidade de PAM (g)</b>		
<b>Regas</b>	<b>220 m</b>	<b>160 m</b>
1ª	102,75	106,50
2ª	81,15	72,00
3ª	72,00	57,75
4ª	57,75	39,75
5ª	63,00	37,95
<b>Totais</b>	<b>376,65</b>	<b>313,95</b>

<b>Total de PAM gasto (kg/ha/regas)</b>		
<b>Regas</b>	<b>220 m</b>	<b>160 m</b>
1ª	3,11	4,44
2ª	2,46	3,00
3ª	2,18	2,41
4ª	1,75	1,66
5ª	1,91	1,58

<b>Total de PAM aplicado (kg/ha)</b>	
<b>220 m</b>	<b>160 m</b>
<b>2,283</b>	<b>2,616</b>

<b>Total de PAM aplicado (kg/ha/época)</b>	
<b>220 m</b>	<b>160 m</b>
<b>0,380</b>	<b>0,436</b>

Bloco de sulcos rectilíneos declivosos

Comprimento dos sulcos (m)  
     140  
 Espaço entre linhas (m)  
     0,75  
 Sulcos tratados  
     6  
 Número total de regas efectuadas  
     30

<b>Mobilização tradicional</b>	
<b>Quantidade de PAM (g)</b>	
<b>Regas</b>	<b>140 m</b>
1ª	76,50
2ª	76,50
3ª	76,50
<b>Totais</b>	<b>229,50</b>

<b>Total de PAM gasto (kg/ha/regas)</b>	
<b>Regas</b>	<b>140 m</b>
1ª	7,29
2ª	7,29
3ª	7,29
<b>Total de PAM (kg/ha)</b>	
<b>140 m</b>	
<b>7,286</b>	

<b>Total de PAM (kg/ha/ época)</b>	
<b>140 m</b>	
<b>0,729</b>	

## **ANEXO B**

### **CALIBRAÇÃO DOS CONES DE IMHOFF**

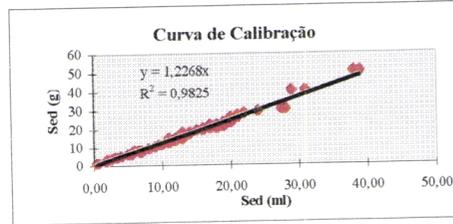
## ANEXO B1

### Calibração dos cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos controle

PESO (G)	SED (g)	SED (ml)
1	0,949	0,70
1	0,925	0,50
1	0,95	0,70
2	1,89	1,75
2	1,92	1,75
2	1,93	1,75
3	2,922	2,00
3	2,271	2,50
3	2,951	2,50
4	3,477	3,00
4	3,873	3,00
4	3,913	3,50
5	4,877	4,00
5	4,905	4,00
5	4,91	4,00
6	5,87	5,50
6	5,94	5,00
6	5,89	5,50
7	6,00	6,85
7	6,00	6,87
7	6,00	6,9

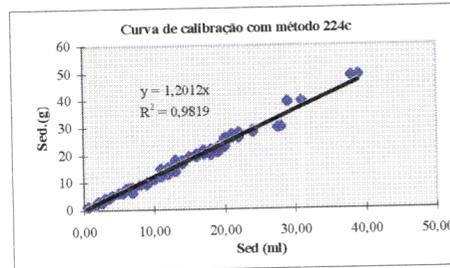
PESO (G)	SED (g)	SED (ml)
8	7,531	6,00
8	7,82	7,00
8	7,8	7,00
8	7,82	6,50
9	8,86	8,00
9	8,8	8,00
9	8,83	8,00
10	9,8	9,00
10	9,74	9,00
10	8,85	9,00
11	10,24	9,50
11	10,68	10,00
11	10,67	10,00
12	11,7	11,00
12	11,62	11,00
12	11,73	11,00
13	12,63	12,00
13	12,61	12,00
13	12,59	12,00
14	13,69	13,00
14	13,63	12,00
14	13,72	12,00

PESO (G)	SED (g)	SED (ml)
29	28,00	24,00
29	28,18	24,00
29	28,32	24,00
30	29,80	28,00
30	29,53	27,50
30	29,78	28,00
40	38,97	29,00
40	39,17	29,00
40	39,49	31,00
50	48,48	38,00
50	48,76	39,00
50	48,96	39,00



PESO (G)	SED (g)	SED (ml)
15	14,186	12,00
15	14,836	11,00
15	14,923	12,00
16	15,880	13,00
16	15,842	13,00
16	15,987	13,00
17	16,517	14,00
17	16,751	14,00
17	16,700	13,00
18	17,620	14,00
18	17,510	13,00
18	17,826	13,00
19	18,985	15,00
19	18,890	16,00
19	18,910	16,00
20	19,823	16,00
20	19,889	17,00
20	19,796	18,00
21	20,670	19,00
21	20,700	19,00
21	20,620	19,00

PESO (G)	SED (g)	SED (ml)
22	21,62	18,00
22	21,04	18,00
22	21,29	17,00
23	22,49	20,00
23	22,55	20,00
23	22,57	19,00
24	23,41	20,00
24	23,37	20,00
24	23,52	20,00
25	24,8	20,00
25	24,78	20,00
25	24,85	20,00
26	25,74	20,00
26	25,85	21,00
26	25,89	21,00
27	26,85	21,00
27	26,83	21,00
27	26,82	21,00
28	27,72	22,00
28	25,79	22,00
28	26,83	22,00

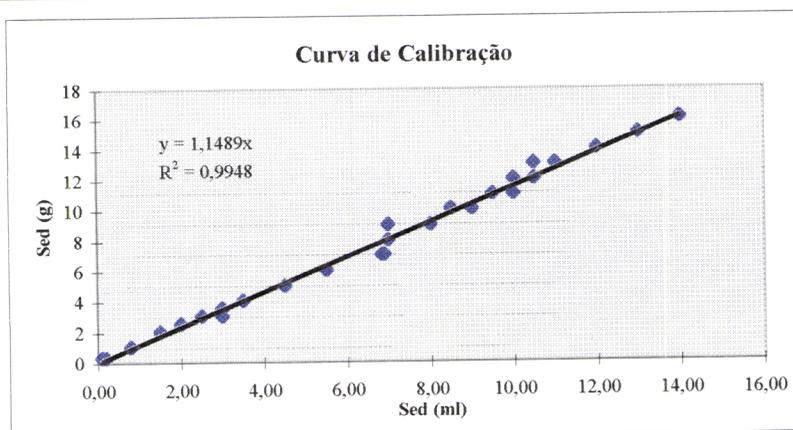


## ANEXO B2

### Calibração dos Cones de Imhoff com solo da superfície de sulcos tratados

PESO (g)	SED (ml)	SED (g)
0,3	0,20	0,26
0,3	0,20	0,27
0,3	0,10	0,26
1	0,80	0,868
1	0,80	0,879
1	0,80	0,89
1,5	1,20	1,43
1,5	1,20	1,45
1,5	1,20	1,44
2	1,50	1,913
2	1,50	1,761
2	1,50	1,896
2,5	2,00	2,19
2,5	2,00	2,44
2,5	2,00	2,43
3	2,50	2,912
3	3,00	2,91
3	2,50	2,92
3,5	3,00	3,45
3,5	3,00	3,42
3,5	3,00	3,44
4	3,50	3,87
4	3,50	3,95
4	3,50	3,91
5	4,50	4,87
5	4,50	4,9
5	4,50	4,85
6	5,50	5,84
6	5,50	5,88
6	5,50	5,85
7	6,87	6,5
7	6,84	6,5
7	6,90	6,5

PESO (g)	SED (ml)	SED (g)
8	7,00	7,84
8	7,00	7,93
8	7,00	7,85
9	8,00	8,85
9	7,00	8,81
9	8,00	8,81
10	9,00	9,95
10	9,00	9,83
10	8,50	9,86
11	10,00	10,78
11	10,00	10,85
11	9,50	10,77
12	10,00	11,71
12	10,50	11,84
12	10,00	11,69
13	10,50	12,65
13	11,00	12,58
13	11,00	12,61
14	12,00	13,59
14	12,00	13,59
14	12,00	13,51
15	13,00	14,51
15	13,00	14,56
15	13,00	14,49
16	14,00	15,76
16	14,00	15,85
16	14,00	15,76



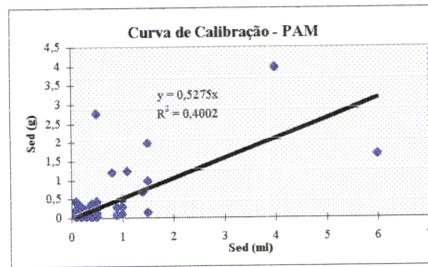
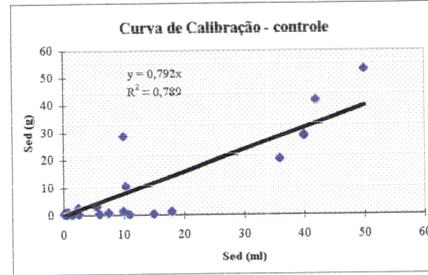
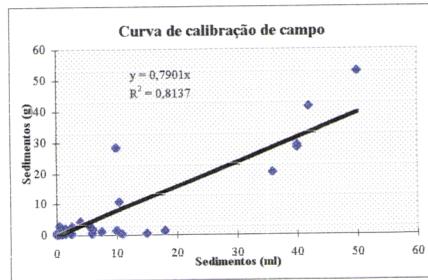
ANEXO B3

Calibração dos cones de Imhoff com as recolhas de sedimentos do campo, geral, só de sulcos controle e só de sulcos tratados

Controle	
SED. (ml)	SED. (g)
0,20	0,155
0,20	0,423
0,30	0,181
0,40	0,697
0,40	0,042
0,40	0,234
0,50	0,678
0,50	0,482
0,60	0,776
0,60	0,243
0,70	0,586
0,80	1,021
0,90	0,958
1,00	0,732
1,50	0,110
2,00	0,588
2,5	0,141
2,50	2,451
5,50	2,696
6,00	0,150
7,50	0,740
10,00	1,181
10,00	28,151
10,40	10,357
11,00	0,093
15,00	0,254
18,00	0,956
36,00	20,115
40,00	28,151
40,00	28,787
42,00	41,299
50,00	52,706

PAM	
SED. (ml)	SED. (g)
0,1	0,165
0,1	0,027
0,10	0,21
0,10	0,43
0,10	0,12
0,10	0,16
0,10	0,38
0,10	0,13
0,10	0,20
0,10	0,02
0,2	0,241
0,2	0,043
0,20	0,14
0,20	0,02
0,20	0,11
0,20	0,26
0,20	0,02
0,20	0,23
0,20	0,17
0,20	0,24
0,30	0,10
0,30	0,15
0,30	0,20
0,30	0,02
0,4	0,285
0,4	0,031
0,4	0,36
0,40	0,003
0,40	0,11
0,5	0,024
0,50	0,34
0,50	0,22
0,50	0,09
0,50	0,01
0,50	2,75
0,50	0,42
0,50	0,06
0,8	1,176
0,9	0,261
0,9	0,058
1,00	0,27
1,00	0,08
1,00	0,47
1,1	1,218
1,40	0,66
1,50	0,95
1,5	0,113
1,50	1,96
4,00	3,94
6,00	1,65

Curva de Calibração	
SED. (ml)	SED. (g)
0,1	0,165
0,1	0,027
0,10	0,208
0,10	0,425
0,10	0,115
0,10	0,163
0,10	0,380
0,10	0,130
0,10	0,201
0,10	0,023
0,20	0,155
0,20	0,423
0,2	0,241
0,2	0,043
0,20	0,141
0,20	0,021
0,20	0,111
0,20	0,264
0,20	0,023
0,20	0,226
0,20	0,167
0,20	0,237
0,30	0,181
0,30	0,103
0,30	0,152
0,30	0,203
0,30	0,018
0,40	0,697
0,40	0,042
0,40	0,234
0,4	0,285
0,4	0,031
0,4	0,360
0,40	0,003
0,40	0,106
0,50	0,678
0,50	0,482
0,5	0,024
0,50	0,336
0,50	0,224
0,50	0,094
0,50	0,011
0,50	2,754
0,50	0,415
0,50	0,055
0,60	0,776
0,60	0,243
0,70	0,586
0,80	1,021
0,8	1,176
0,90	0,958
0,9	0,261
0,9	0,058
1,00	0,732
1,00	0,274
1,00	0,079
1,00	0,465
1,1	1,218
1,40	0,659
1,50	0,110
1,5	0,113
1,50	1,955
1,50	0,954
2,00	0,588
2,5	0,141
2,50	2,451
4,00	3,942
5,50	2,696
6,00	0,150
6,00	1,645
7,50	0,740
10,00	1,181
10,00	28,151
10,40	10,357
11,00	0,093
15,00	0,254
18,00	0,956
36,00	20,115
40,00	28,151
40,00	28,787
42,00	41,299
50,00	52,706

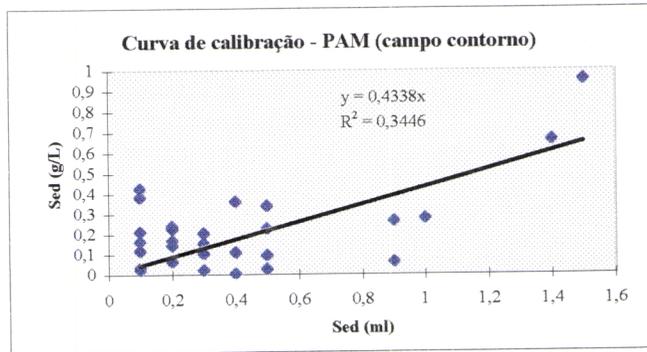
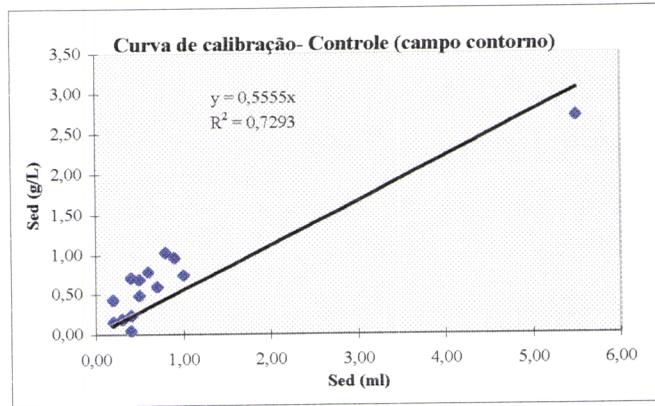


## ANEXO B4

### Calibração dos cones de Imhoff apenas com recolhas de sedimentos do bloco de contorno

CONTROLE de contorno		campo
SED. (ml)	SED. (g)	
0,20	0,15	
0,20	0,42	
0,30	0,18	
0,40	0,70	
0,40	0,04	
0,40	0,23	
0,50	0,68	
0,50	0,48	
0,60	0,78	
0,70	0,59	
0,80	1,02	
0,90	0,96	
1,00	0,73	
5,50	2,70	

PAM campo de contorno	
SED. (ml)	SED. (g)
0,1	0,027
0,10	0,21
0,10	0,43
0,10	0,12
0,10	0,16
0,10	0,38
0,10	0,02
0,2	0,061
0,20	0,14
0,20	0,23
0,20	0,17
0,20	0,24
0,3	0,202
0,30	0,10
0,30	0,15
0,30	0,02
0,4	0,36
0,40	0,003
0,40	0,11
0,5	0,024
0,50	0,34
0,50	0,22
0,50	0,09
0,9	0,058
0,9	0,261
1,00	0,27
1,40	0,66
1,5	0,95

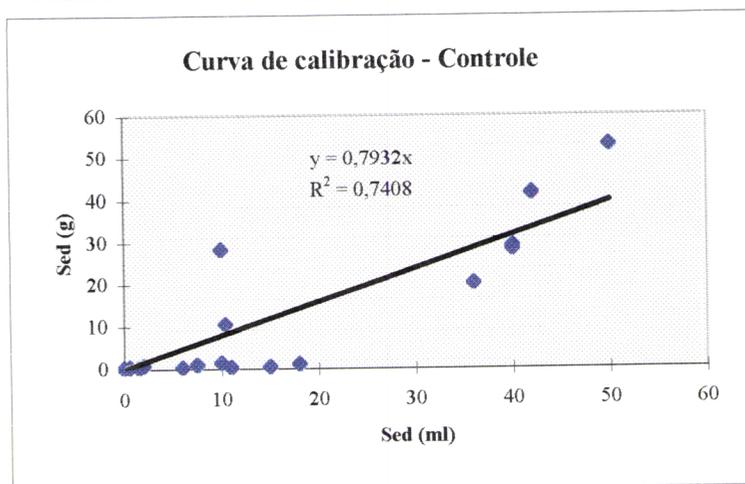
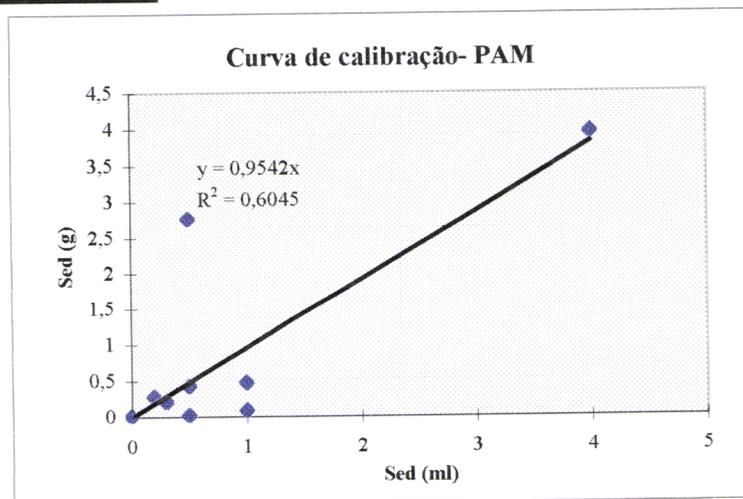


## ANEXO B5

### Calibração dos cones de Imhoff apenas com recolhas do bloco de mobilização tradicional

Controle	
SED. (ml)	SED. (g)
0	0
0,60	0,24
1,50	0,11
2,00	0,59
6,00	0,15
7,50	0,74
10,00	1,18
10,00	28,15
10,40	10,36
11,00	0,09
15,00	0,25
18,00	0,96
36,00	20,12
40,00	28,15
40,00	28,79
42,00	41,30
50,00	52,71

PAM	
SED. (ml)	SED. (g)
0	0
0,30	0,20
0,20	0,26
0,50	0,01
0,50	2,75
0,50	0,42
1,00	0,08
1,00	0,47
4,00	3,94



**ANEXO C**  
**PERDA DE SOLO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO ENSAIO**

## ANEXO C1

Perda de solo e transporte de sedimentos verificados no bloco de contorno ao longo das regas monitorizadas

SC-p 26					
	1ª REGA	2ª REGA	3ª REGA	4ª REGA	5ª REGA
1/3	2905,97	403,30	0,00	0,00	0,00
2/3		41,19		0,00	14,17
3/3	13,90	24,22	0,00	0,00	4,93

SC-p 46					
	1ª REGA	2ª REGA	3ª REGA	4ª REGA	5ª REGA
1/3	3674,39	1067,11	388,81	165,14	0,00
2/3	75,17	59,19	0,00	0,00	
3/3	8,63	34,53	22,20	14,80	9,25

SC-p 28					
	1ª REGA	2ª REGA	3ª REGA	4ª REGA	5ª REGA
1/3	961,17	0,00	0,00	0,00	0,00
2/3	49,66	73,75			
3/3	23,77	31,39	0,00	7,62	21,30

SC-c 44					
	1ª REGA	2ª REGA	3ª REGA	4ª REGA	5ª REGA
1/3	1595,69	861,64	119,21	400,80	229,44
2/3	231,31		61,66	265,80	191,00
3/3	119,62	241,09	77,69	60,12	90,64

SC-c 27					
	1ª REGA	2ª REGA	3ª REGA	4ª REGA	5ª REGA
1/3	1709,30	544,51	478,62	194,83	132,75
2/3		60,35	140,10	55,09	379,28
3/3	78,48	269,06	224,21	100,90	134,53

Análise de variância e teste de Scheffé da perda de solo e transporte de sedimentos entre sulcos controle e tratados no bloco de contorno

Perda de solo (kg/ha)			
1/3			
Rega	Controle	PAM	Redução (%)
1*	1652,50	2513,8	-52,12
2*	703,08	490,1	30,29
3*	298,92	129,6	56,64
4*	297,82	55,0	81,52
5*	181,10	0,0	100,00

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO			
Linha	Contagem	Soma	Média
Linha 1	2	4166,338333	2083,169167
Linha 2	2	1193,211667	596,6058333
Linha 3	2	428,3183333	214,2591667
Linha 4	2	352,8616667	176,4308333
Linha 5	2	181,095	90,5475
Coluna 1	5	3133,395	626,679
Coluna 2	5	3188,63	637,726

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO			
Linha	Contagem	Soma	Média
Linha 1	2	293,725	146,8625
Linha 2	2	118,39333	59,19666667
Linha 3	2	100,88	50,44
Linha 4	2	160,445	80,2225
Linha 5	2	299,31	149,655
Coluna 1	5	838,125	167,625
Coluna 2	5	134,62833	26,92566667

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO			
Linha	Contagem	Soma	Média
Linha 1	2	114,48333	57,24166667
Linha 2	2	285,12167	142,5608333
Linha 3	2	158,35	79,175
Linha 4	2	87,983333	43,99166667
Linha 5	2	124,41167	62,20583333
Coluna 1	5	698,17	139,634
Coluna 2	5	72,18	14,436

Perda de solo (kg/ha)			
2/3			
Rega	Controle	PAM	Redução (%)
1*	231,31	62,4	73,02
2*	60,35	58,0	3,82
3*	100,88	0,0	100,00
4*	160,45	0,0	100,00
5*	285,14	14,2	95,03

Perda de solo (kg/ha)			
3/3			
Rega	Controle	PAM	Redução (%)
1*	99,05	15,4	84,42
2*	255,08	30,0	88,22
3*	150,95	7,4	95,10
4*	80,51	7,5	90,72
5*	112,59	11,8	89,50

ANOVA

Fonte de variação	SD	gl	MO	F	F crítico	valor P	F	valor P	F crítico
Linhas	5564731,943	4	1391182,986	12,269932	0,0161807	6,3882339	3000,87827	1,5639756	0,3376896
Colunas	305,0905225	1	305,0905225	0,0026908	0,9611169	7,7086497	39186,34801	20,422852	0,0106651
Ero	453525,9036	4	113381,4759				7675,0003	4	1918,75008
Total	601862,937	9							

ANOVA

Fonte de variação	SD	gl	MO	F	F crítico	valor P	F	valor P	F crítico
Linhas	18273,688	4	4568,424503	0,9396801	0,5233159	6,3882339	12003,513	4	3000,87827
Colunas	49490,756	1	49490,756	10,179763	0,033198	7,7086497	39186,348	1	39186,34801
Ero	19446,7215	4	4861,680382				7675,0003	4	1918,75008
Total	87211,1755	9							

ANOVA

Fonte de variação	SD	gl	MO	F	F crítico	valor P	F	valor P	F crítico
Linhas	12003,513	4	3000,87827	1,5639756	0,3376896	6,3882339	3000,87827	1,5639756	0,3376896
Colunas	39186,348	1	39186,34801	20,422852	0,0106651	7,7086497	39186,34801	20,422852	0,0106651
Ero	7675,0003	4	1918,75008				7675,0003	4	1918,75008
Total	58864,861	9							

TESTE SCHEFFÉ		1º FACTOR		2º FACTOR	
1º FACTOR	ABS	Sum	1º FACTOR	ABS	Sum
1-2	2973,13	4166,34	1º FACTOR	442,85	114,48333
1-3	5737,82	1193,21	2º FACTOR	384,59	285,12167
1-4	3813,48	428,52			158,35
1-5	5985,24	352,86			87,98333
2-3	764,69	181,10			124,41167
2-4	840,35				158,35
2-5	1012,12				26,50
3-4	75,66				9,93
3-5	247,42				126,77
4-5	171,77				197,14

## ANEXO C3

**Análise de variância da perda de solo em sulcos tratados com PAM e controle em sulcos de diferentes comprimentos do bloco de contorno**

	SC-c 44	SC-p 46	SC-p 26	SC-c 27	SC-p 28
	Perda de solo (kg/ha)				
3/3					
1ª	119,62	0,00	65,75	78,48	23,77
2ª	241,09	34,53	0,00	269,06	31,39
3ª	77,69	48,25	51,80	224,21	0,00
4ª	60,12	0,00	31,24	100,90	7,62
5ª	90,64	35,77	74,26	134,53	21,30

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	5	287,62	57,524	2202,769
Linha 2	5	576,07	115,214	16581
Linha 3	5	401,9496	80,38992	7251,107
Linha 4	5	199,88	39,976	1709,706
Linha 5	5	356,5	71,3	2035,803
Coluna 1	5	589,16	117,832	5219,298
Coluna 2	5	118,5496	23,70992	497,259
Coluna 3	5	223,05	44,61	886,6318
Coluna 4	5	807,18	161,436	6698,435
Coluna 5	5	84,08	16,816	162,0525

### ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	15847,71402	4	3961,929	1,667874	0,206396	3,006917
Colunas	81114,546	4	20278,64	8,536803	0,000692	3,006917
Erro	38006,98947	16	2375,437			
Total	134969,2495	24				

### TESTE SCHEFFÉ

	534,5181879	1º FACTOR			2º FACTOR		
		Sum	ABS		Sum	ABS	
1º FACTOR	534,5181879	287,62	288,45	1-2	589,16	470,61	1-2
2º FACTOR	534,5181879	576,07	114,33	1-3	118,5496	366,11	1-3
		401,9496	87,74	1-4	223,05	218,02	1-4
		199,88	68,88	1-5	807,18	505,08	1-5
		356,5	174,12	2-3	84,08	104,50	2-3
			376,19	2-4		688,63	2-4
			219,57	2-5		34,47	2-5
			202,07	3-4		584,13	3-4
			45,45	3-5		138,97	3-5
			156,62	4-5		723,10	4-5

ANEXO C4

Análise de variância entre o movimento de sedimentos ao longo dos sulcos controle e tratados do bloco de contorno

Perda de solo (kg/ha)			
Controle			
Rega	1/3	2/3	3/3
1ª	1652,50	231,31	99,05
2ª	703,08	60,35	255,08
3ª	298,92	100,88	150,95
4ª	297,82	160,45	80,51
5ª	181,10	285,14	112,59

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	3	1982,855	660,9517	741741,8
Linha 2	3	1018,5	339,5	108619,5
Linha 3	3	550,745	183,5817	10603,08
Linha 4	3	538,77	179,59	12080,26
Linha 5	3	578,82	192,94	7549,035
Coluna 1	5	3133,395	626,679	368065,2
Coluna 2	5	838,125	167,625	8469,982
Coluna 3	5	698,17	139,634	4832,258

Perda de solo (kg/ha)			
PAM			
Rega	1/3	2/3	3/3
1ª	2513,8	62,4	15,4
2ª	490,1	58,0	30,0
3ª	129,6	0,0	7,4
4ª	55,0	0,0	7,5
5ª	0,0	14,2	11,8

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	3	2591,692	863,8972	2042293
Linha 2	3	578,2267	192,7422	66528,55
Linha 3	3	137,0033	45,66778	5297,573
Linha 4	3	62,52	20,84	891,5347
Linha 5	3	25,99667	8,665556	57,69169
Coluna 1	5	3188,63	637,726	1136499
Coluna 2	5	134,6283	26,92567	960,123
Coluna 3	5	72,18	14,436	87,37006

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	512160,3	4	128040,1	1,010867	0,456161	3,837854
Colunas	747878,2	2	373939,1	2,952221	0,109584	4,458968
Erro	1013309	8	126663,7			
Total	2273348	14				

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	1589589	4	397397,2	1,073829	0,429673	3,837854
Colunas	1269539	2	634769,6	1,715247	0,239939	4,458968
Erro	2960598	8	370074,8			
Total	5819726	14				

## ANEXO C5

Perda de solo e transporte de sedimentos verificados no bloco de mobilização tradicional ao longo das regas monitorizadas

SDp-6			
	1ª Rega	2ª Rega	3ª Rega
1/3	2448,97	0,00	153,55
2/3			
3/3	489,04	204,36	31,01

SD-c 3			
	1ª Rega	2ª Rega	3ª Rega
1/3	22279,67	4315,44	4249,85
2/3	1835,92	5338,59	4721,24
3/3	17532,29	8230,59	3629,07

SD-p 7			
	1ª Rega	2ª Rega	3ª Rega
1/3	3073,23	0,00	0,00
2/3			
3/3	958,36	0,00	21,14



## ANEXO C7

### Análise de variância entre o movimento de sedimentos ao longo dos sulcos controle e tratados no bloco de sulcos retilíneos declivosos

*Perda de Solo(kg/ha)*

		<i>Regas</i>	<i>Controle</i>	<i>PAM</i>
	1 <sup>a</sup>		22279,67	2761,1
1/3	2 <sup>a</sup>		4315,44	0,0
	3 <sup>a</sup>		4249,85	76,8
	1 <sup>a</sup>		17532,29	723,7
3/3	2 <sup>a</sup>		8230,59	102,2
	3 <sup>a</sup>		3629,07	26,1

Anova: factor duplo sem repetição

<i>JMARI</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Linha	2	25040,77	12520	1,9E+08
Linha	2	4315,44	2157,7	9311511
Linha	2	4326,625	2163,3	8707277
Linha	2	18255,99	9128	1,41E+08
Linha	2	8332,77	4166,4	33035525
Linha	2	3655,145	1827,6	6490786
Colun:	6	60236,91	10039	63322868
Colun:	6	3689,83	614,97	1179058

ANOVA

<i>de var</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas:	199677249,5	5	4E+07	1,625608	0,303441	5,050339
Colun:	266464354,7	1	3E+08	10,84667	0,021632	6,607877
Erro	122832381,3	5	2E+07			
Total	588973985,6	11				

**ANEXO D**  
**PORMENORES DAS REGAS NO BLOCO DE CONTORNO E DE**  
**MOBILIZAÇÃO TRADICIONAL**  
**1**

---

<sup>1</sup> T representa todos os volumes de sedimentos lidos nos cones de Imhoff inferiores a 0.1 ml

**ANEXO D1**

REGA 1 - BLOCO DE CONTORNO 220 m

DATA: 08-07-1997

REGA Nº # 1

<b>Sulcos</b>																																															
SCP-26				SCC-27				SCP-28																																							
Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento																																							
	17:20		T av	17:50		T av	18:05																																								
1 / 3 do Sulco	17:25		1ª Recolha	17:55		1ª Recolha	18:10																																								
	17:55	1,5	1ª Leitura	18:25	0,9	1ª Leitura	18:40	0,9																																							
	17:45		2ª Recolha	18:15		2ª Recolha	18:30																																								
	18:15	0,9	2ª Leitura	18:45	0,4	2ª Leitura	19:00	0,1																																							
	18:05		3ª Recolha	18:35		3ª Recolha	18:50																																								
	18:35	0,4	3ª Leitura	19:05	0,4	3ª Leitura	19:20	0,5																																							
			Caudal de Saída (l/s)	Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)																																									
2 / 3 do Sulco			T av			T av																																									
			1ª Recolha			1ª Recolha																																									
			1ª Leitura			1ª Leitura																																									
			2ª Recolha			2ª Recolha																																									
			2ª Leitura			2ª Leitura																																									
			3ª Recolha			3ª Recolha																																									
			3ª Leitura			3ª Leitura																																									
			Caudal de Saída (l/s)	Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)																																									
3 / 3 do Sulco	18:25		T av	18:30		T av																																									
	18:30		1ª Recolha	18:35		1ª Recolha																																									
	19:00	0,3	1ª Leitura	19:05	2,5	1ª Leitura																																									
	18:50		2ª Recolha	18:55		2ª Recolha																																									
	19:20	0,2	2ª Leitura	19:25	T	2ª Leitura																																									
	19:10		3ª Recolha	19:15		3ª Recolha																																									
19:40	T	3ª Leitura	19:45	T	3ª Leitura																																										
			Caudal de Saída (l/s)	Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)																																									
			0,70			0,70																																									
			0,80			0,80																																									
			0,50			0,50																																									
			0,00			0,00																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="12">Água do canal de rega</td> </tr> <tr> <td colspan="12">pH 6,56</td> </tr> <tr> <td colspan="12">C.E. (us) 20,6</td> </tr> </table>												Água do canal de rega												pH 6,56												C.E. (us) 20,6											
Água do canal de rega																																															
pH 6,56																																															
C.E. (us) 20,6																																															

**ANEXO D2**

REGA 2 - BLOCO DE CONTORNO 220 m

DATA: 15-07-1997  
REGA N° # 2

		SCp-26			SCc-27			SCp-28				
		Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento		
1 / 3 do Sulco	T av	17:43	2,25		T av	14:55	1,40		T av	17:40	2,25	
	1ª Recolha	17:48	2,25		1ª Recolha	15:00	1,40		1ª Recolha	17:45	2,25	
	1ª Leitura	18:18	1,37	0,2	1ª Leitura	15:30	1,20	0,70	1ª Leitura	18:15	1,37	0,9
	2ª Recolha	18:08	2,05		2ª Recolha	15:20	1,30		2ª Recolha	18:05	2,05	
	2ª Leitura	18:38	0,80	0,1	2ª Leitura	15:50	0,90	0,20	2ª Leitura	18:35	0,80	T
	3ª Recolha	18:28	1,11		3ª Recolha	15:40	1,15		3ª Recolha	18:25	1,11	
	3ª Leitura	18:58	0,40	0,2	3ª Leitura	16:10	0,85	0,1	3ª Leitura	18:55	0,40	0,1
2 / 3 do Sulco	Caudal de Saída (l/s)			Caudal de Saída (l/s)			Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)			
	T av	18:02		T av	15:17		T av	18:01				
	1ª Recolha	18:07		1ª Recolha	15:22		1ª Recolha	18:06				
	1ª Leitura	18:37	0,1	1ª Leitura	15:55	0,5	1ª Leitura	18:36	0,1			
	2ª Recolha	18:27		2ª Recolha	15:42		2ª Recolha	18:26				
	2ª Leitura	18:57	0,1	2ª Leitura	16:12	0,3	2ª Leitura	18:56	0,1			
	3ª Recolha	18:47		3ª Recolha	16:02		3ª Recolha	18:46				
	3ª Leitura	19:17	0,1	3ª Leitura	16:32	0,2	3ª Leitura	19:16	0,2			
3 / 3 do Sulco	Caudal de Saída (l/s)			Caudal de Saída (l/s)			Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)			
	T av	18:20		T av	16:12		T av	18:25				
	1ª Recolha	18:33	1,80	1ª Recolha	16:17	0,30	1ª Recolha	18:30	1,80			
	1ª Leitura	19:03		1ª Leitura	16:47	5,5	1ª Leitura	19:00	0,2			
	2ª Recolha	18:53	1,70	2ª Recolha	16:37	0,30	2ª Recolha	18:50	1,70			
	2ª Leitura	19:23		2ª Leitura	17:07	6,5	2ª Leitura	19:20	0,1			
	3ª Recolha	19:13	0,80	3ª Recolha	16:57	0,20	3ª Recolha	19:10	0,80			
	3ª Leitura	19:43		3ª Leitura	17:27	T	3ª Leitura	19:40	T			
Agua do canal de rega												
pH												
C.E. (us)												





**ANEXO D5**

REGA 5 - BLOCO DE CONTORNO 220 m

DATA: 31-07-1997  
REGA Nº # 5

		SCp-26				SCc-27				SCp-28			
		Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)
1 / 3 do Sulco	T av	14:40	1,54		T av	15:32	0,99		T av	16:05	1,54		
	1ª Recolha	14:45	1,54	T	1ª Recolha	15:37	0,91		1ª Recolha	16:10	1,54		
	1ª Leitura	15:15	1,35		1ª Leitura	16:07	0,72	0,20	1ª Leitura	16:40	1,35	T	
	2ª Recolha	16:05	1,46	T	2ª Recolha	15:57	0,76		2ª Recolha	16:30	1,46		
	2ª Leitura	16:35	0,90		2ª Leitura	16:27	0,62	0,10	2ª Leitura	17:00	0,90	T	
	3ª Recolha	16:25	1,20	T	3ª Recolha	16:17	0,64		3ª Recolha	16:50	1,20		
	3ª Leitura	16:55	0,85		3ª Leitura	16:47	0,51	0,1	3ª Leitura	17:20	0,85	T	
2 / 3 do Sulco	Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		
	T av	15:20		T av	15:56			T av	16:50				
	1ª Recolha	15:25		1ª Recolha	16:01			1ª Recolha	16:55				
	1ª Leitura	15:55	0,2	1ª Leitura	16:31		3,0	1ª Leitura	17:25	0,60	0,1		
	2ª Recolha	15:45		2ª Recolha	16:21		3,0	2ª Recolha	17:15	0,60	0,1		
	2ª Leitura	16:15	T	2ª Leitura	16:51		2,0	2ª Leitura	17:45	0,50	0,1		
	3ª Recolha	16:05	T	3ª Recolha	16:41			3ª Recolha	17:35	0,50			
3ª Leitura	16:35		3ª Leitura	17:11			3ª Leitura	18:05					
3 / 3 do Sulco	Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		Caudal de Saída (l/s)		
	T av	15:55		T av	16:56			T av	16:50				
	1ª Recolha	16:00	0,50	1ª Recolha	17:01		2,0	1ª Recolha	16:55	0,60	0,1		
	1ª Leitura	16:30		1ª Leitura	17:39		2,0	1ª Leitura	17:25	0,60	0,1		
	2ª Recolha	16:20	0,60	2ª Recolha	17:21		2,0	2ª Recolha	17:15	0,60	0,1		
	2ª Leitura	16:50		2ª Leitura	17:51		2,0	2ª Leitura	17:45	0,50	0,1		
	3ª Recolha	16:40	0,40	3ª Recolha	17:41		2,0	3ª Recolha	17:35	0,50	0,1		
3ª Leitura	17:10		3ª Leitura	18:11			3ª Leitura	18:05					
Água do canal de rega													
pH	7,82												
T°C	31,2												
C.E. (ms)	0,01												

**ANEXO D6**

REGA 1 - BLOCO DE CONTORNO 160 m

DATA: 09-07-1997  
REGA Nº # 1

		SCc-44				SCp-46			
		Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Caudal de Saída (l/s)	
1 / 3 do Sulco	T av	12:45	2,90		T av	13:00	2,90		
	1ª Recolha	12:50	2,90		1ª Recolha	13:05	2,90		
	1ª Leitura	13:20	2,25	0,4	1ª Leitura	13:35	2,25	1,5	
	2ª Recolha	13:10	2,50		2ª Recolha	13:25	2,50		
	2ª Leitura	13:40	1,35	0,6	2ª Leitura	13:55	1,35	1,4	
	3ª Recolha	13:30	1,70		3ª Recolha	13:45	1,70		
	3ª Leitura	14:00	1,08	0,6	3ª Leitura	14:15	1,08	1,0	
2 / 3 do Sulco	T av	12:55			T av	13:15			
	1ª Recolha	13:00			1ª Recolha	13:20			
	1ª Leitura	13:30		0,50	1ª Leitura	13:50		0,30	
	2ª Recolha	13:20			2ª Recolha	13:40			
	2ª Leitura	13:50		0,50	2ª Leitura	14:10		0,10	
	3ª Recolha	13:40			3ª Recolha	14:00			
	3ª Leitura	14:10		3ª Leitura	14:30		0,10		
3 / 3 do Sulco	T av	13:15			T av	13:35			
	1ª Recolha	13:20	1,20		1ª Recolha	13:40	0,80		
	1ª Leitura	13:50		0,8	1ª Leitura	14:10		0,1	
	2ª Recolha	13:40	1,00		2ª Recolha	14:00	0,60		
	2ª Leitura	14:10		0,7	2ª Leitura	14:30		0,1	
	3ª Recolha	14:00	0,40		3ª Recolha	14:20	0,30		
	3ª Leitura	14:30		3ª Leitura	14:50		0		
Água do canal de rega									
pH									
C.E. (us)									

**ANEXO D7**

REGA 2 - BLOCO DE CONTORNO 160 m

DATA: 24-07-1997  
REGANº # 2

		SCc-44			SCp-46			SCp-48				
		Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)		
1 / 3 do Sulco	T av	15:50	1,70		T av	16:01	1,70		T av	16:10	1,70	
	1ª Recolha	15:55	1,70		1ª Recolha	16:06	1,70		1ª Recolha	16:15	1,70	
	1ª Leitura	16:25	1,60	0,4	1ª Leitura	16:36	1,60	1,0	1ª Leitura	16:45	1,60	T
	2ª Recolha	16:15	1,60		2ª Recolha	16:26	1,60		2ª Recolha	16:35	1,60	
	2ª Leitura	16:45	1,35	0,3	2ª Leitura	16:56	1,35	0,3	2ª Leitura	17:05	1,35	T
	3ª Recolha	16:35	1,50		3ª Recolha	16:46	1,50		3ª Recolha	16:55	1,50	
3ª Leitura	17:05	1,20	0,5	3ª Leitura	17:16	1,20	0,2	3ª Leitura	17:25	1,20	T	
2 / 3 do Sulco	T av	16:30			T av	16:11			T av	16:25		
	1ª Recolha	16:35			1ª Recolha	16:16	1,00		1ª Recolha	16:30	1,00	
	1ª Leitura	17:05			1ª Leitura	16:46	1,00	0,1	1ª Leitura	17:00	1,00	T
	2ª Recolha	16:55			2ª Recolha	16:36	1,00		2ª Recolha	16:50	1,00	
	2ª Leitura	17:25			2ª Leitura	17:06	0,90	0,2	2ª Leitura	17:20	1,00	0,2
	3ª Recolha	17:15			3ª Recolha	16:56	0,90	0,2	3ª Recolha	17:10	1,00	0,2
3ª Leitura	17:45			3ª Leitura	17:26		0,2	3ª Leitura	17:40		0,2	
3 / 3 do Sulco	T av	16:25			T av	16:31			T av	16:36		
	1ª Recolha	16:30	0,80		1ª Recolha	16:36	0,70		1ª Recolha	16:41	0,20	
	1ª Leitura	17:00	0,80	0,2	1ª Leitura	17:06	0,70	0,4	1ª Leitura	17:11	0,50	T
	2ª Recolha	16:50	0,80		2ª Recolha	16:56	0,70		2ª Recolha	17:01	0,50	
	2ª Leitura	17:20	0,70	2,5	2ª Leitura	17:26	0,70	0,2	2ª Leitura	17:31	0,50	T
	3ª Recolha	17:10	0,70	2,5	3ª Recolha	17:16	0,70	0,2	3ª Recolha	17:21	0,50	
3ª Leitura	17:40			3ª Leitura	17:46		0,2	3ª Leitura	17:51		T	
Água do canal de rega												
pH												
C.E. (us)												

**ANEXO D8**

REGA 3 - BLOCO DE CONTORNO 160 m

DATA: 28-07-1997  
REGA Nº # 3

<b>SULCOS</b>													
SCc-44				SCp-46				SCp-48					
	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	
1 / 3 do Sulco	T av	17:00	1,40		17:10	1,40		17:20	1,40		17:20	1,40	
	1ª Recolha	17:05	1,40		17:15	1,40		1ª Recolha	17:25		17:25	1,40	
	1ª Leitura	17:35	1,20	0,2	17:45	1,20	0,5	1ª Leitura	17:55		17:55	1,20	T
	2ª Recolha	17:25	1,30		17:35	1,30		2ª Recolha	17:45		17:45	1,30	
	2ª Leitura	17:55	0,90	T	18:05	0,90	T	2ª Leitura	18:15		18:15	0,90	T
	3ª Recolha	17:45	1,15		17:55	1,15		3ª Recolha	18:05		18:05	1,15	
	3ª Leitura	18:15	0,85	T	18:25	0,85	0,2	3ª Leitura	18:35		18:35	0,85	T
2 / 3 do Sulco	Caudal de Saída (l/s)												
	T av	17:07	1,00		17:18	1,00		T av	17:18		17:18	1,00	
	1ª Recolha	17:12	1,00	0,2	17:23	1,00	0,2	1ª Recolha	17:23		17:23	1,00	
	1ª Leitura	17:42	1,00		17:53	1,00		1ª Leitura	17:53		17:53	1,00	T
	2ª Recolha	17:32	1,00	0,2	17:43	1,00	0,2	2ª Recolha	17:43		17:43	1,00	T
	2ª Leitura	18:02	1,00		18:13	1,00		2ª Leitura	18:13		18:13	1,00	
3ª Recolha	17:52	1,00	0,1	18:03	1,00	0,1	3ª Recolha	18:03		18:03	1,00	T	
	3ª Leitura	18:22		18:33			3ª Leitura	18:33		18:33			
3 / 3 do Sulco	T av	17:40	1,00		17:45	1,00		T av	17:45		17:50	0,80	
	1ª Recolha	17:45	1,00	0,5	17:50	1,00	0,5	1ª Recolha	17:50		17:55	0,80	T
	1ª Leitura	18:15	1,00		18:20	1,00		1ª Leitura	18:20		18:25	0,80	
	2ª Recolha	18:05	1,00	0,4	18:10	1,00	0,4	2ª Recolha	18:10		18:15	0,80	T
	2ª Leitura	18:35	0,90		18:40	0,90		2ª Leitura	18:40		18:45	0,80	
	3ª Recolha	18:25	0,90	0,4	18:30	0,90	0,4	3ª Recolha	18:30		18:35	0,80	T
	3ª Leitura	18:55		19:00			3ª Leitura	19:00		19:05			
Água do canal de rega													
pH													
C.E. (us)													

**ANEXO D9**

REGA 4 - BLOCO DE CONTORNO 160 m

DATA: 06-08-1997  
REGA Nº # 4

		SCc-44				SCp-46				
		Tempo		Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo		Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	
1 / 3 do Sulco	T av	18:00	1,08		T av	18:15	1,08			
	1ª Recolha	18:05	0,96		1ª Recolha	18:20	0,96			
	1ª Leitura	18:35	0,82	0,7	1ª Leitura	18:50	0,82	0,4		
	2ª Recolha	18:25	0,91		2ª Recolha	18:40	0,91			
	2ª Leitura	18:55	0,74	0,2	2ª Leitura	19:10	0,74	T		
	3ª Recolha	18:45	0,78		3ª Recolha	19:00	0,78			
	3ª Leitura	19:15	0,72	0,1	3ª Leitura	19:30	0,72	T		
2 / 3 do Sulco	T av	18:11			T av	18:29				
	1ª Recolha	18:16			1ª Recolha	18:34				
	1ª Leitura	18:46		2,00	1ª Leitura	19:04		T		
	2ª Recolha	18:36			2ª Recolha	18:54				
	2ª Leitura	19:06		1,00	2ª Leitura	19:24		T		
	3ª Recolha	18:56			3ª Recolha	19:14				
	3ª Leitura	19:26		0,40	3ª Leitura	19:34		T		
3 / 3 do Sulco	T av	18:31			T av	18:55				
	1ª Recolha	18:36			1ª Recolha	19:00				
	1ª Leitura	19:06		1,0	1ª Leitura	19:30		0,6		
	2ª Recolha	18:56			2ª Recolha	19:20				
	2ª Leitura	19:26		0,5	2ª Leitura	19:50		T		
	3ª Recolha	19:16			3ª Recolha	19:40				
	3ª Leitura	19:46		0,45	3ª Leitura	20:10		T		
Agua do canal de rega										
pH	7,12									
C.E. (ms)	0,27									
C.E. (us)	277									
t°C	23,3									

**ANEXO D10**

REGA 5 - BLOCO DE CONTORNO 160 m

DATA: 11-08-1997  
REGA Nº # 5

SULCOS																																																																							
Sec-44				SCp-46				SCp-48																																																															
	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)																																																														
1 / 3 do Sulco	T av	17:50	1,08	T av	18:05	1,08	T av	18:21	1,08																																																														
	1ª Recolha	17:55	0,94	1ª Recolha	18:10	0,94	1ª Recolha	18:26	0,94																																																														
	1ª Leitura	18:25	0,81	1ª Leitura	18:40	0,81	1ª Leitura	18:56	0,81	T	T																																																												
	2ª Recolha	18:15	0,86	2ª Recolha	18:30	0,86	2ª Recolha	18:46	0,86																																																														
	2ª Leitura	18:45	0,71	2ª Leitura	19:00	0,71	2ª Leitura	19:16	0,71	T	T																																																												
	3ª Recolha	18:35	0,73	3ª Recolha	18:50	0,73	3ª Recolha	19:06	0,73																																																														
	3ª Leitura	19:05	0,61	3ª Leitura	19:20	0,61	3ª Leitura	19:36	0,61	T	T																																																												
2 / 3 do Sulco	T av	18:03		T av			T av	18:35																																																															
	1ª Recolha	18:08		1ª Recolha			1ª Recolha	18:40																																																															
	1ª Leitura	18:38	2,00	1ª Leitura			1ª Leitura	19:10		T	T																																																												
	2ª Recolha	18:28		2ª Recolha			2ª Recolha	19:00																																																															
	2ª Leitura	18:58	0,30	2ª Leitura			2ª Leitura	19:30		T	T																																																												
	3ª Recolha	18:48		3ª Recolha			3ª Recolha	19:20																																																															
	3ª Leitura	19:20	0,40	3ª Leitura			3ª Leitura	19:50		T	T																																																												
3 / 3 do Sulco	T av	18:35		T av	18:53		T av	19:05																																																															
	1ª Recolha	18:40		1ª Recolha	18:58		1ª Recolha	19:10																																																															
	1ª Leitura	19:10	1,5	1ª Leitura	19:28	0,2	1ª Leitura	19:40	0,50	0,1	0,1																																																												
	2ª Recolha	19:00		2ª Recolha	19:18		2ª Recolha	19:30	0,50																																																														
	2ª Leitura	19:30	0,8	2ª Leitura	19:48	0,1	2ª Leitura	20:00	0,50	0,1	0,1																																																												
	3ª Recolha	19:20		3ª Recolha	19:38	0,30	3ª Recolha	19:50	0,40																																																														
	3ª Leitura	19:50	0,8	3ª Leitura	20:08	0,1	3ª Leitura	20:20	0,40	0,1	0,1																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="12">Água do canal de rega</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td colspan="11">7,00</td> </tr> <tr> <td>C.E. (ms)</td> <td colspan="11">0,27</td> </tr> <tr> <td>C.E. (us)</td> <td colspan="11">277</td> </tr> <tr> <td>T<sup>o</sup>c</td> <td colspan="11">22,4</td> </tr> </table>												Água do canal de rega												pH	7,00											C.E. (ms)	0,27											C.E. (us)	277											T <sup>o</sup> c	22,4										
Água do canal de rega																																																																							
pH	7,00																																																																						
C.E. (ms)	0,27																																																																						
C.E. (us)	277																																																																						
T <sup>o</sup> c	22,4																																																																						

**ANEXO D11**

REGA 1 - BLOCO DE MOBILIZAÇÃO TRADICIONAL 140 m

DATA: 29-07-1997  
REGA Nº # 1

SULCOS									
SDc-3			SDp-6			SDp-7			
Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	Tempo	Caudal de Entrada (l/s)	Sedimento (ml)	
1 / 3 do Sulco	T av 12:30 1ª Recolha 12:35 1ª Leitura 13:05 2ª Recolha 12:55 2ª Leitura 13:25 3ª Recolha 13:15 3ª Leitura 13:45	7,00	T av 12:20 1ª Recolha 12:25 1ª Leitura 12:55 2ª Recolha 12:45 2ª Leitura 13:15 3ª Recolha 13:05 3ª Leitura 13:35	1,70	0,6	1 / 3 do Sulco	1,70	0,4	1,70
2 / 3 do Sulco	T av 12:35 1ª Recolha 12:40 1ª Leitura 13:10 2ª Recolha 13:00 2ª Leitura 13:30 3ª Recolha 13:20 3ª Leitura 13:40	2,5	T av 1ª Recolha 1ª Leitura 2ª Recolha 2ª Leitura 3ª Recolha 3ª Leitura	Caudal de Saída (l/s) 1,40 1,50 1,50 1,50 1,50		2 / 3 do Sulco	Caudal de Saída (l/s)		
3 / 3 do Sulco	T av 12:44 1ª Recolha 12:49 1ª Leitura 13:19 2ª Recolha 13:09 2ª Leitura 13:39 3ª Recolha 13:29 3ª Leitura 13:59	36,00	T av 12:36 1ª Recolha 12:41 1ª Leitura 13:11 2ª Recolha 13:01 2ª Leitura 13:31 3ª Recolha 13:21 3ª Leitura 13:51	1,50	1,5	3 / 3 do Sulco	1,10	0,3	1,60
Água do canal de rega		20,00		Caudal de Saída (l/s) 1,40	1,00		Caudal de Saída (l/s) 1,50		
pH	7								
C.E. (us)	0,24								
C.E. (ms)	228								
T°C	26,2								





**ANEXO E**  
**INFILTRAÇÃO**

ANEXO E1

Análise de variância da taxa de infiltração e infiltração acumulada nos sulcos de contorno

Aumentos da Taxa de Infiltração média (%)			
Regas	Controle	PAM	Aumento (%)
1ª	0,51	0,59	13,6
2ª	0,27	0,34	20,6
3ª	0,16	0,33	51,5
4ª	0,11	0,23	52,2
5ª	0,11	0,21	47,6

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO				
	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	2	1,107466667	0,553733333	0,003131042
Linha 2	2	0,6025	0,30125	0,002415125
Linha 3	2	0,4918	0,2459	0,01545282
Linha 4	2	0,3458	0,1729	0,00766322
Linha 5	2	0,318	0,159	0,0055125
Coluna 1	5	1,156166667	0,231233333	0,029168147
Coluna 2	5	1,7094	0,34188	0,022944237

Aumentos Infiltração acumulada média (%)			
Regas	Controle	PAM	Aumento (%)
1ª	46,0	78,9	41,7
2ª	32,0	43,5	26,4
3ª	36,3	43,8	17,1
4ª	12,8	31,8	59,7
5ª	22,2	45,6	51,3

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO				
	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	2	124,916	62,458	538,609021
Linha 2	2	75,4515	37,72575	66,2227861
Linha 3	2	80,1485	40,07425	27,9266011
Linha 4	2	44,6348	22,3174	180,199925
Linha 5	2	67,7755	33,88775	274,869181
Coluna 1	5	149,3463	29,86926	164,463223
Coluna 2	5	243,58	48,716	314,029686

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	F crítico	valor P	F crítico
Linhas	0,20488154	4	0,051220385	57,42203546	0,0008689	6,3882339	6,3882339
Colunas	0,03060671	1	0,030606712	34,31250454	0,0042389	7,7086497	7,7086497
Erro	0,003568	4	0,000891999				
Total	0,23905625	9					

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	F crítico	valor P	F crítico
Linhas	1714,1431	4	428,5357857	8,57807175	0,0304252	6,3882339	6,3882339
Colunas	887,99902	1	887,9990216	17,7752234	0,0135202	7,7086497	7,7086497
Erro	199,82849	4	49,95712303				
Total	2801,9707	9					

TESTE SCHEFFÉ

1º FACTOR	1º FACTOR		2º FACTOR	2º FACTOR	
	Sum	ABS		Sum	ABS
1º FACTOR	1,11	0,505	1,16	0,533	1-2
	0,60	0,616	1,71		1-3
	0,49	0,762			1-4
	0,35	0,789			1-5
	0,32	0,111			2-3
2º FACTOR		0,257			2-4
		0,285			2-5
		0,146			3-4
		0,174			3-5
		0,028			4-5
1º FACTOR		124,92	49,465	149,35	1-2
2º FACTOR		75,45	44,768	243,58	1-3
		80,15	80,281		1-4
		44,63	57,141		1-5
		67,78	4,697		2-3
			30,817		2-4
			7,676		2-5
			35,514		3-4
			12,373		3-5
			23,141		4-5

Análise de variância da taxa de infiltração e infiltração acumulada em sulcos de diferentes comprimentos no bloco de contorno

Taxa de Infiltração média I (l/m/min)				
Regas	SC-p 26	SC-c 27	SC-p 46	SC-c 44
1*	0,513	0,467	0,674	0,561
2*	0,336	0,222	0,336	0,311
3*	0,363	0,199	0,305	0,117
4*	0,277	0,073	0,193	0,149
5*	0,245	0,073	0,178	0,140

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	4	2,215	0,55375	0,007879
Linha 2	4	1,205	0,30125	0,00293
Linha 3	4	0,9836	0,2459	0,011991
Linha 4	4	0,6919	0,172975	0,007254
Linha 5	4	0,636333	0,159083	0,005167
Coluna 1	5	1,734	0,3468	0,010809
Coluna 2	5	1,034333	0,206867	0,025994
Coluna 3	5	1,6852	0,33704	0,040188
Coluna 4	5	1,2783	0,25566	0,034983

Infiltração acumulada I				
Regas	SC-p 26	SC-c 27	SC-p 46	SC-c 44
1*	69,647	46,587	88,090	45,508
2*	43,48	41,563	43,480	22,383
3*	41,766	43,685	45,856	28,990
4*	47,322	11,497	16,298	14,153
5*	69,668	25,381	21,554	18,948

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	4	249,8323	62,45808	415,959
Linha 2	4	150,9067	37,72667	105,4465
Linha 3	4	160,2977	40,07442	57,39743
Linha 4	4	89,27	22,3175	281,7259
Linha 5	4	135,552	33,888	575,9723
Coluna 1	5	271,8837	54,37673	198,6398
Coluna 2	5	168,7143	33,74287	222,4408
Coluna 3	5	215,278	43,0556	803,6019
Coluna 4	5	129,9827	25,99653	148,1649

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	0,409646	4	0,102411	32,13021	2,52E-06	3,25916
Colunas	0,067415	3	0,022472	7,050146	0,005477	3,4903
Erro	0,038249	12	0,003187			
Total	0,515309	19				

TESTE SCHEFFÉ		1º FACTOR		2º FACTOR	
	Sum	ABS		Sum	ABS
1º FACTOR	0,577	2,22	1,010	1,73	0,700
2º FACTOR	0,578	1,21	1,231	1,03	0,049
		0,98	1,523	1,69	0,456
		0,69	1,579	1,28	0,651
		0,64	0,221		0,244
			0,513		0,407
			0,569		
			0,292		
			0,347		
			0,056		

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	3428,267	4	857,0667	4,985065	0,013346	3,25916
Colunas	2246,381	3	748,7936	4,355303	0,027078	3,4903
Erro	2063,123	12	171,9269			
Total	7737,77	19				

TESTE SCHEFFÉ		1º FACTOR		2º FACTOR	
	Sum	ABS		Sum	ABS
1º FACTOR	133,906	249,8323	98,926	271,8837	103,169
2º FACTOR	134,173	150,9067	89,535	168,7143	56,606
		160,2977	160,562	215,278	141,901
		89,27	114,280	129,9827	46,564
		135,552	9,391	38,732	2-4
		61,637	2-4	85,295	3-4
		15,355	2-5		
		71,028	3-4		
		24,746	3-5		
		46,282	4-5		

### ANEXO E3

#### Análise de variância da taxa de infiltração e infiltração acumulada dos sulcos de mobilização tradicional

Taxa de Infiltração média i (l/m/min)		
Regas	SD-c3	Sd-p6
1ª	0,050	0,170
2ª	0,130	0,310
3ª	0,050	0,240

Aumentos da Taxa de Infiltração média (%)		
Regas	Controle	PAM
1ª	0,050	0,170
2ª	0,130	0,310
3ª	0,050	0,240

Infiltração acumulada I		
Regas	SD-c3	SD-p6
1ª	4,030	20,350
2ª	7,430	50,190
3ª	3,370	11,350

Aumentos Infiltração acumulada média (%)		
Regas	Controle	PAM
1ª	4,030	20,350
2ª	7,430	50,190
3ª	3,370	11,350

Anova: factor duplo sem repetição

SUMARIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	2	0,22	0,11	0,0072
Linha 2	2	0,44	0,22	0,0162
Linha 3	2	0,29	0,145	0,01805
Coluna 1	3	0,23	0,076666667	0,002133
Coluna 2	3	0,72	0,24	0,0049

Anova: factor duplo sem repetição

SUMARIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	2	24,38	12,19	133,1712
Linha 2	2	57,62	28,81	914,2088
Linha 3	2	14,72	7,36	31,8402
Coluna 1	3	14,83	4,943333333	4,746533
Coluna 2	3	81,89	27,29666667	413,3285

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	0,01263333	2	0,006316667	8,813953	0,101896	19,000026
Colunas	0,04001667	1	0,040016667	55,83721	0,017442	18,512765
Erro	0,00143333	2	0,000716667			
Total	0,05408333	5				

TESTE SCHEFFÉ

1º FACTOR	ABS	1-2	1-3	2-3
Sum	0,22			
Sum	0,44			
Sum	0,29			

TESTE SCHEFFÉ

1º FACTOR	ABS	1-2	1-3	2-3
Sum	0,23			
Sum	0,72			
Sum	14,72			

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	506,4372	2	253,2186	1,535994	0,394323	19,000003
Colunas	749,5072667	1	749,5072667	4,546423	0,16664	18,51276
Erro	329,7129333	2	164,8564667			
Total	1585,6574	5				

2º FACTOR

Sum	ABS	1-2	1-3	2-3
24,38	33,240			
57,62	9,660			
14,72	42,900			

ANEXO E4

Análise de variância da taxa de infiltração e infiltração acumulada dos sulcos com mobilização tradicional utilizando os valores de cada recolha

Taxa de Infiltração média i (l/m min)		
Regas	SD-c3	SD-p6
1ª	0,08	0,25
	0,04	0,13
	0,04	0,13
2ª	0,17	0,43
	0,13	0,30
	0,08	0,21
3ª	0,08	0,30
	0,04	0,21
	0,04	0,21

Infiltração acumulada I		
Regas	SD-c3	SD-p6
1ª	2,98	17,02
	4,15	20,73
	4,95	23,30
2ª	4,94	43,91
	7,68	50,85
	9,66	55,80
3ª	2,33	6,54
	3,49	11,62
	4,29	15,89

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	2	0,33	0,165	0,01445
Linha 2	2	0,17	0,085	0,00405
Linha 3	2	0,17	0,085	0,00405
Linha 4	2	0,6	0,3	0,0338
Linha 5	2	0,43	0,215	0,01445
Linha 6	2	0,29	0,145	0,00845
Linha 7	2	0,38	0,19	0,0242
Linha 8	2	0,25	0,125	0,01445
Linha 9	2	0,25	0,125	0,01445
Coluna 1	9	0,7	0,0777778	0,0021194
Coluna 2	9	2,17	0,2411111	0,0087861

Anova: factor duplo sem repetição

SUMÁRIO	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	2	20	10	98,5608
Linha 2	2	24,88	12,44	137,4482
Linha 3	2	28,25	14,125	168,36125
Linha 4	2	48,85	24,425	759,33045
Linha 5	2	58,53	29,265	931,82445
Linha 6	2	65,46	32,73	1064,4498
Linha 7	2	8,87	4,435	8,86205
Linha 8	2	15,11	7,555	33,04845
Linha 9	2	20,18	10,09	67,28
Coluna 1	9	44,47	4,9411111	5,4486111
Coluna 2	9	245,66	27,295556	326,82698

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	0,0749444	8	0,0093681	6,0930443	0,0096762	3,4381031
Colunas	0,12005	1	0,12005	78,081301	2,12E-05	5,317645
Erro	0,0123	8	0,0015375			
Total	0,2072944	17				

ANOVA

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Linhas	1637,7846	8	204,72308	1,6050101	0,2592421	3,4381031
Colunas	2248,7453	1	2248,7453	17,629957	0,0030014	5,317645
Erro	1020,4201	8	127,55251			
Total	4906,9501	17				

TESTE SCHEFFÉ

1º FACTOR	0,411	1º FACTOR		2º FACTOR	0,7	1,470
		Sum	ABS			
2º FACTOR	0,384	0,33	0,160	1-2		
		0,17	0,160	1-3		
		0,17	0,270	1-4		
		0,6	0,100	1-5		
		0,43	0,040	1-6		
		0,29	0,050	1-7		
		0,38	0,080	1-8		
		0,25	0,080	1-9		
		0,25	0,000	2-3		
			0,130	2-4		
			0,260	2-5		
			0,120	2-6		
			0,210	2-7		
			0,080	2-8		
			0,080	2-9		
			0,130	3-4		
			0,260	3-5		
			0,120	3-6		
			0,210	3-7		
			0,080	3-8		
			0,080	3-9		
			0,170	4-5		
			0,310	4-6		
			0,220	4-7		
			0,350	4-8		
			0,350	4-9		
			0,140	5-6		
			0,050	5-7		
			0,180	5-8		
			0,180	5-9		
			0,090	6-7		
			0,040	6-8		
			0,040	6-9		
			0,130	7-8		
			0,130	7-9		
			0,000	8-9		

TESTE SCHEFFÉ

2º FACTOR	110,494	2º FACTOR		1-2
		Sum	ABS	
		44,47	201,190	
		245,66		