



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL**

**Departamento de Engenharia Rural**

**Programa de Pós-Graduação em Gestão de Solos e Água**

**DESEMPENHO DA REGA POR SULCOS NA ESTAÇÃO AGRÁRIA DO  
UMBELUZI - DISTRITO DE BOANE**

**Autor:**

● **Hélio do Rosário L. Armazia**

**Supervisores:**

● **Prof. Dr. Rui Miguel L. Brito**

● **Prof. Dr. Jorge de Barros**

**Janeiro de 2014**



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

*DESEMPENHO DA REGA POR SULCOS NA ESTAÇÃO AGRÁRIA DO UMBELUZI -  
DISTRITO DE BOANE*

---

Por

**Hélio do Rosário Luís Armazia**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Solos e Água, Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, da UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE, como requisito final para obtenção do grau de

**Mestre em Gestão de Solos e Água.**

**Janeiro de 2014**

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, Hélio Do Rosário Luís Armazia, declaro por minha honra que este trabalho é fruto da minha própria investigação e nunca foi apresentado para a obtenção de qualquer grau académico, seja nesta ou em qualquer outra universidade. Este constitui o fruto de trabalho de campo por mim realizado e de pesquisas bibliográficas, estando as fontes utilizadas no texto e na bibliografia.

Maputo, Janeiro de 2014

---

(Hélio Do Rosário Luis Armazia)

## *Dedicatória*

*Aos meus pais Luís Armazia Nacareia e Nita Cebola Nacareia, dedico*

*Ao meu irmão Juvenal Luís Armazia e a sua esposa, também dedico*

*As minhas sobrinhas, ofereço.*

## **AGRADECIMENTOS**

- *Este trabalho é o resultado do esforço de um conjunto mais alargado de individualidades, muitas das vezes anónimas, criaram condição material e moral para o seu sucesso e partilharam a sua sabedoria através de orientações e opiniões que me levaram a tal concretização. A todos, quero expressar o meu reconhecimento, em particular:*
- *Aos meus supervisores, Prof. Dr. Rui Miguel L. Brito e Prof. Dr. Jorge de Barros, por terem aceitado o pedido de supervisionar este trabalho que pelo meu conhecimento, eles são os especialistas com o grau mais alto até então na área de irrigação nesta Universidade;*
- *Ao departamento de Engenharia Rural da Universidade, pelo apoio material e logístico porque sem eles, não seria possível a sua concretização, em especial ao Engenheiro Mário Chilundo que soube através das suas orientações indicar a metodologia correta que se devia usar em campo;*
- *Aos Engenheiros e Técnicos do IIAM-EAU que cederam o espaço para a realização das medições de campo, em especial a Engenheira Maria Natália Tesinde;*
- *A turma do primeiro grupo do Mestrado em Gestão de Solos e Água pelo brilhante papel que sempre tiveram como colegas, mas em especial ao Paulino Sandramo que soube apoiar em todas as medições de campo em companhia de um amigo, Faizal Sindique Fay. A vocês sou e serei eternamente grato;*
- *Aos meus pais que moralmente investiram em mim e me apoiaram em condições financeiras. A este grupo junto o meu único irmão que sempre soube tão bem desempenhar o papel de irmão e amigo mais próximo.*

## RESUMO

O presente trabalho é um estudo sobre o desempenho da rega por sulcos na Estação Agrária do Umbeluzi conduzido por pressupostos que levantam problemas como as práticas inadequadas de rega por sulcos que o conduzem a um baixo desempenho. Para o efeito, delimitou-se como objectivo geral o de avaliar o desempenho do método de rega por sulcos no sentido de determinar e discutir os resultados das eficiências de aplicação, de armazenamento, de uniformidade, de percolação profunda e de escoamento superficial.

Neste contexto, o trabalho baseou-se em dois modelos de estudo nos quais um teórico que retrata sobre a análise de dados históricos como os dados da precipitação na Bacia do Umbeluzi, dados de solos e práticas de rega, e a outra vertente foi baseada no modelo prático relacionado com as medições de campo onde foram feitas determinações como o levantamento topográfico, o teste de infiltração da água nos solos; a medição do fluxo de água nos sulcos; o avanço e a recessão da água nos sulcos; a secção transversal dos sulcos e a análise do solo na estação. Do resultado destas medições foi constatado que o campo apresenta condições que se adequam a prática da rega por sulcos. Em relação aos testes de infiltração dos solos analisados com base na grandeza de dotação para o 1º e 2º sulco (96 e 95 mm) e o tempo para infiltrar essas dotações (28 e 27 minutos) constatou-se que estes pertencem a classe de infiltração alta, ainda que o resultado dos solos se mostraram como “Franco-arenosos” esta infiltração pode variar (redução) consoante o intervalo de rega.

No que tange as medições de caudais para os dois sulcos medidos com comprimentos de 120 metros cada, para o 1º e 2º sulco (6.33 e 5.23 l/s/sulco), estes valores são altos para os declives que o campo apresenta e são assim influenciados pelas práticas de rega da EAU. Com base nos dados obtidos nas medições de campo foram determinadas eficiências de rega baseadas na modelação e os dois (2) *softwares* usados apresentaram valores como (54 e 59 %) para as eficiências de aplicação ( $e_a$ ) para o 1º e 2º sulco no primeiro *software*, e (62 e 67 %) para o 1º e 2º sulco no segundo *software*. Para as eficiências de uniformidade ( $e_u$ ) no primeiro *software* para o 1º e 2º sulco os valores são de (94 e 92 %) e (69 e 74 %) para o 1º e 2º sulco no segundo *software*. A avaliação foi feita com base na eficiência de aplicação e uniformidade de distribuição. Assim, o desempenho do sistema mostrou-se baixo o que levou a optimização das eficiências e os resultados melhoraram com base na redução de parâmetros como o comprimento do sulco, o tempo de aplicação e do respectivo caudal aplicado.

**Palavras-chave:** Rega por sulcos; Desempenho do método; Baseado na Modelação

## ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURA.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema de estudo e justificativa.....	1
1.2. Objectivos:.....	2
1.2.1. Objectivo geral:.....	2
1.2.2. Objectivos específicos:.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Generalidades sobre a rega por sulcos.....	3
2.2. Adaptabilidade da rega por sulcos.....	4
2.3. Tipos de rega por sulcos.....	8
2.3.1. Sulcos em nível.....	8
2.3.2. Sulcos inclinados em linha recta.....	9
2.3.3. Sulcos segundo as curvas de nível.....	10
2.3.4. Sulcos corrugados (corrugações).....	12
2.4. Características dos sulcos.....	13
2.4.1. Declive e comprimento dos sulcos.....	14
2.5. Fases da rega por sulcos.....	16
2.6. Desempenho de rega por sulcos.....	18
2.6.1. Generalidades.....	18
2.7. Parâmetros para a avaliação do método de rega.....	20
2.7.1. Infiltração dos solos.....	20
2.7.2. Medição de caudal (Parshall Flumes).....	21
2.7.3. Padrões de humedecimento dos solos.....	23

2.7.4. Padrão ideal de humedecimento dos solos.....	24
2.7.5. Geometria da secção transversal.....	25
2.8. Optimização do método de rega por sulcos.....	25
2.9. <i>Software</i> NRCS Surface .....	26
2.9.1. Controlos especiais .....	26
2.9.1.1. Topografia e geometria do campo .....	27
2.9.1.2. Coeficiente de Manning.....	29
2.9.1.3. Secção transversal do sulco .....	29
2.9.1.4. Características de infiltração .....	30
2.9.1.5. Controlo de fluxos .....	31
2.9.1.6. Simulação do tempo de corte.....	33
2.9.2. Eficiência de rega e uniformidade de distribuição.....	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1. Local de estudo.....	40
3.1.2. Solos da EAU.....	43
3.1.3. Mecanismos de captação, distribuição e aplicação da água na EAU. ...	44
3.2. Determinações de campo.....	45
3.2.1. Topografia.....	45
3.2.2. Solos.....	46
3.2.3. Infiltração .....	47
3.2.4. Determinação da secção transversal .....	50
3.2.5. Medição do fluxo nos canais e as fases de avanço e de recessão .....	51
3.2.6. Eficiências de rega .....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1. Topografia .....	56
4.2. Solos .....	57
4.3. Determinação da taxa de infiltração dos solos .....	59
4.4. Caudal, tempo de avanço, de recessão e a dotação média do sulco .....	62
4.5. Eficiências de rega.....	66
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	74
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXOS .....	80



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Sulcos em nível.....	9
Figura 2:	Sulcos graduados em linha recta.....	10
Figura 3:	Sulcos graduados em contornos.....	11
Figura 4:	Sulcos corrugados (Corrugações).....	12
Figura 5:	Representação da forma triangular de um sulco.....	13
Figura 6:	Representação da forma parabólica e trapezoidal de um sulco.....	13
Figura 7:	As quatro fases básicas de um evento de rega por gravidade mostrando a trajectória da água durante o processo de irrigação.....	17
Figura 8:	Ilustração do anel duplo para o ensaio da infiltração no campo.....	20
Figura 9:	Vista superior e lateral do Parshall Flume.....	22
Figura 10:	Diferentes padrões de humedecimento dos sulcos, na dependência do tipo de solo.....	23
Figura 11:	Representação do padrão ideal de humedecimento dos solos na rega por sulcos.....	24
Figura 12:	Optimização do comprimento do sulco.....	26
Figura 13:	Painel das características de campo referentes à topografia e geometria do campo para simulação da rega por sulcos.....	27
Figura 14:	Ilustração da múltipla inclinação do campo na rega por gravidade.....	28
Figura 15:	Representação de larguras e profundidade máxima referente à secção transversal do sulco.....	30
Figura 16:	Planilha das características de campo referente à infiltração dos solos.....	31
Figura 17:	Planilha para introdução de dados como caudal e tempo de corte de rega.....	32
Figura 18:	Simulação dos dados requeridos no <i>software</i> NRCS Surface e a respectivo resultado das eficiências.....	34
Figura 19:	Estrutura de um sulco ilustrando aplicação da água e as respectivas perdas desse processo.....	35

Figura 20:	Mapa referente à localização geográfica e os seus respectivos limites geográficos.....	41
Figura 21:	Campo de ensaios na Estação Agrária do Umbeluzi.....	42
Figura 22:	Aplicação da água a partir dos canais de distribuição de betão até o canal de secundário para o campo em estudo.....	45
Figura 23:	Levantamento topográfico na área parcelada, na Estação Agrária do Umbeluzi.....	46
Figura 24:	Levantamento de amostras de solo na EAU.....	47
Figura 25:	Medição de campo da infiltração do solo na Estação Agrária do Umbeluzi.....	48
Figura 26:	Determinação da secção transversal dos sulcos e do canal de cabeira na EAU.....	50
Figura 27:	Determinação do caudal de entrada e de saída nos canais de cabeceira através do Parshal Flume.....	52
Figura 28:	Diagrama triangular utilizado para a classificação textural do solo.....	58
Figura 29:	Famílias de infiltração medidas com base na dotação média e no tempo de aplicação.....	61

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1:	Vantagens e desvantagens do método da irrigação por sulcos.....	6
Tabela 2:	Recomendações das características ideais para um determinado sulco.....	15
Tabela 3:	Resumo das variáveis que influenciam a uniformidade e a eficiência do método de rega por sulcos.....	19
Tabela 4:	Resultado da declive do campo estudado.....	56
Tabela 5:	Resultado da análise de solos.....	57
Tabela 6:	Implicações práticas da presença ou não da capacidade de troca catiónica.....	59
Tabela 7:	Resultado da infiltração básica.....	60
Tabela 8:	Classificação das famílias de infiltração dos sulcos medidos.....	61
Tabela 9:	Resumo dos resultados referentes à medição do fluxo de entrada e de saída da água nos sulcos em cada sulco.....	64
Tabela 10:	Tabela de Wageningen. Relação das vazões máximas não erosivas nos sulcos.....	64
Tabela 11:	Tabela de Melvyn Key. Sugestão de comprimento dos sulcos.....	65
Tabela 12:	Eficiências de rega obtidas com base na modelação para os dois <i>softwares</i> .....	70
Tabela 13:	Eficiências de rega optimizadas obtidas com base na modelação para os dois <i>softwares</i> .....	70
Tabela 14:	Eficiências de rega optimizadas com base na modelação para os dois <i>softwares</i> .....	71
Tabela 15:	Classes aceitáveis de eficiências para rega por sulcos.....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo (1-A)	Resultados do levantamento topográfico referentes ao nivelamento principal.....	81
Anexo (1-B)	Resultados do levantamento topográfico referentes ao nivelamento secundário.....	81
Anexo (1-C)	Resultados do levantamento topográfico referentes ao cálculo da área...	82
Anexo (2-A)	Resultados dos dados de infiltração dos solos da primeira medição de campo.....	83
Anexo (2-B)	Resultados de infiltração dos solos da segunda medição de campo.....	84
Anexo (2-C)	Representação da curva de infiltração dos solos da primeira medição....	85
Anexo (2-D)	Representação da curva de infiltração dos solos da segunda medição....	85
Anexo (3-A)	- 1º sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de entrada...	86
Anexo (3-B)	- 1º sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de entrada...	90
Anexo (3-C)	- 1º sulco - cálculo de volumes pelo método de Parshal Flume.....	92
Anexo (3-D)	- 1º sulco - Determinação da equação do (P. de Av.) e do (P. de Reç.)...	92
Anexo (3-E)	- 1º sulco - Determinação da dotação com base na equação da inf. Acumulada.....	93
Anexo (3-F)	- 2º sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de entrada...	94
Anexo (3-G)	- 2º sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de saída.....	98
Anexo (3-H)	- 2º sulco - Calculo de volumes pelo método de Parshal Flume.....	100
Anexo (3-I)	- 2º sulco - Determinação da equação do (P. de Av.) e do (P. de Reç.)....	100
Anexo (3-J)	- 2º sulco - Determinação da dotação com base na equação da inf. acumulada.....	101
Anexo (4-A)	- 1º Sulco - Cálculo das eficiências de rega com base nos dados das medições de campo.....	102
Anexo (4-B)	- 1º Sulco - Cálculo das eficiências de rega com ajustamento do parâmetro “K” para calibração da eficiência runoff.....	103
Anexo (4-C)	- 2º Sulco - Cálculo das eficiências de rega com base nos dados das medições de campo.....	104
Anexo (4-D)	- 2º Sulco - Cálculo das eficiências de rega com ajustamento do parâmetro “K” para calibração da eficiência runoff.....	105

Anexo (4-E)	- 1º Sulco - Otimização das eficiências de rega com base no mesmo caudal ( $q = 6.33$ l/s).....	106
Anexo (4-F)	- 2º sulco - Otimização das eficiências de rega com base no mesmo caudal ( $q = 5.23$ l/s).....	107
Anexo (5-A)	<i>Software</i> NRCS-Surface “Controles de entrada” Caudal unitário e tempo de corte ( dados de medição do 1º sulco).....	108
Anexo (5-B)	<i>Software</i> NRCS-Surface “Geometria e topografia do campo” ( dados de medição do 1º sulco).....	109
Anexo (5-C)	<i>Software</i> NRCS-Surface “Características de infiltração” ( dados de medição do 1º sulco).....	110
Anexo (5-D)	<i>Software</i> NRCS-Surface-Simulação das eficiências de rega referentes ao primeiro sulco.....	111
Anexo (5-E)	<i>Software</i> NRCS-Surface- Otimização das eficiências de rega referentes ao primeiro sulco (Comprimento do sulco = 100 m; Tempo de corte = 30 min;).....	112
Anexo (5-F)	<i>Software</i> NRCS-Surface “Controles de entrada” Caudal unitário e tempo de corte ( dados de medição do 2º sulco).....	113
Anexo (5-G)	<i>Software</i> NRCS-Surface “Geometria e topografia do campo” ( dados de medição do 2º sulco).....	114
Anexo (5-H)	<i>Software</i> NRCS-Surface “Características de infiltração” ( dados de medição do 2º sulco).....	115
Anexo (5-I)	<i>Software</i> NRCS-Surface-Simulação das eficiências de rega referentes ao segundo sulco.....	116
Anexo (5-J)	<i>Software</i> NRCS-Surface- Otimização das eficiências de rega referentes ao primeiro sulco (Comprimento do sulco = 100 m; Tempo de corte = 36 min).....	117

## LISTA DE ABREVIATURAS

- BHU - Bacia Hidrográfica do Umbeluzi
- CE (1:2.5) - Condutividade Eléctrica de um estrato de 1 para 2.5
  - CP - Canal Principal
- CTA - Confederações das Actividades Económicas de Moçambique
- CTC - Capacidade de troca Catiónica
- EAU - Estação Agrária do Umbeluzi
- IIAM - Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique
- NRCS - Natural Resources Conservation Service
- PDB - Plano de Desenvolvimento de Boane
  - pH - Potencial Hidrogeniônico
- PIB - Produto Interno Bruto
- SADC - Southern Africa Development Community
- USDA - United States Department of Agriculture

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Problema de estudo e justificativa**

Segundo as Confederações das Actividades Económicas de Moçambique (CTA, 2008), a agricultura em Moçambique tem um peso substancial na sua economia, com uma contribuição em torno dos 26 % para o PIB e emprega ao mesmo tempo cerca de 80 % da população, sendo que a nível da região da SADC a produtividade é mais baixa em Moçambique em relação à dos outros países, devido às tecnologias usadas pelos agricultores.

Segundo PDDB (2005), no Distrito de Boane a agricultura é a principal actividade praticada e absorve mais de 75% da população economicamente activa, e constitui também a base de subsistência da mesma. Contudo, a prática agrícola na Estação Agrária do Umbeluzi, segundo relatórios do IIAM (2012), é constrangida pelo facto de as parcelas não poderem ser regadas simultaneamente devido aos elevados volumes de água requeridos pelos camponeses que resultam em perdas por escoamento superficial fazendo com que as eficiências de rega desde método estejam aquém do desejado.

Segundo Dyskshorn *et al.* (2003), estes reveses podem estar ligados à falta de combinação adequada das variáveis como o comprimento do sulco, o declive dos campos, o caudal aplicado e o respectivo tempo de aplicação. Assim, muitas das vezes quando modelados com os resultados obtidos nas medições de campo estes sistemas podem levar a recomendações como o redimensionamento do projecto de rega por apresentarem eficiências baixas. Estas abordagens levantam o problema de ser reconhecida a necessidade de serviços de apoio aos regantes que lhes permitam escolhas adequadas dos sistemas de rega a usar, dos equipamentos a utilizar e da gestão a praticar. Os modelos de simulação podem então tornar-se ferramentas essenciais para este fim.

Perante estas hipóteses e constatações, e tendo em vista a necessidade de se fazer o aproveitamento da água no regadio para maximizar os ganhos com a produção e minimizar os custos de operação, foi necessário proceder-se ao seu estudo para conscientizar os regantes e fornecer-lhes ferramentas adequadas para o funcionamento de um sistema ideal de rega por sulcos. Entretanto, vai fornecer bases para programar, operar e manusear adequadamente a rega sendo a modelação uma ferramenta subsidiária para a tomada de decisões objectivas com parâmetros medidos em campo.

Para Carvalho *et al.* (2001), a vantagem de conhecer os mecanismos adequados de rega por sulcos são amplos, sendo que estes podem ser alcançados em toda sua plenitude, quando

o sistema de rega for dimensionado e operacionalizado com critérios que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades de consumo das culturas, sendo abordados aqui aspectos como a deficiência na aplicação ou do seu excesso.

Esta pesquisa pretendeu ainda fechar as lacunas existentes relacionadas com a falta de estudos científicos que abordam especificamente do desempenho da rega por sulcos através da modelação, e também contribuir para o seu aperfeiçoamento com os resultados aqui encontrados.

## **1.2. Objectivos:**

### **1.2.1. Objectivo geral:**

Pretende-se com este estudo, avaliar o desempenho do método de rega por sulcos na Estação Agrária do Umbeluzi (EAU).

### **1.2.2. Objectivos específicos:**

- ✘ Analisar o processo de captação, condução e distribuição da água na EAU;
- ✘ Determinar os valores das eficiências de rega com base nos dados das medições de campo e definir as suas respectivas classes de desempenho;
- ✘ Comparar os resultados obtidos com base nos modelos usados e discutir as implicações desses valores no desempenho da rega;
- ✘ Determinar as características óptimas que devem ser usadas para melhorar o seu desempenho.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Generalidades sobre a rega por sulcos**

Segundo Regina *et al.* (1999), a irrigação pode ser realizada por diferentes métodos: Rega por aspersão; Rega localizada; Rega por sulcos e a Rega Subterrânea. Assim, Em relação à escolha do método de rega, esta autora frisa que não existe um melhor que o outro, mas sim o que melhor se adequa a uma determinada situação, sendo que existem vantagens e limitações no emprego de cada um deles. Para o bom desempenho da rega, alguns aspectos devem ser considerados, sendo eles a disponibilidade e qualidade de água, energia e mão-de-obra despendida, a topografia e o tipo de solo, o custo de implantação, o clima e a cultura a irrigar.

Na distinção destes métodos, segundo Brouwer *et al.* (1985), o método da rega superficial define-se como sendo a aplicação de água por fluxo de gravidade para a superfície do campo podendo este ser dividido em dois grandes grupos sendo que o primeiro consiste na inundação completa do campo (irrigação da bacia), e o segundo a água é alimentada em pequenos canais (sulcos). De acordo com Brito (2012), em termos de eficiências, cada método apresenta valores de acordo com o tipo de práticas implementadas, mas na rega por sulcos criteriosamente deve-se ter os cuidados desde o seu dimensionamento em observação de aspectos como o tipo de solo, o comprimento dos sulcos, a topografia do terreno, a capacidade de infiltração dos solos, a evapotranspiração da região e nas fases de operação e manutenção porque perto de ser um sistema automatizado requer assistência directa dos regantes.

Segundo Testezlaf (2001) o método de rega por sulcos pode ser descrito como a distribuição da água de rega por meio de canais paralelos às fileiras das plantas por onde se movimenta ao longo da inclinação do comprimento dos sulcos, isto é, a água é aplicada a uma taxa específica de fluxo superficial espaçados em canais uniformes. Um pormenor relevante é o factor tempo de aplicação da água no sulco que determina o fluxo de entrada. Têm como características a infiltração da água no solo e nas laterais do sulco designado de perímetro molhado, sendo que o movimento horizontal e vertical no perfil do solo proporciona assim a humidade necessária para o desenvolvimento das culturas.

## **2.2. Adaptabilidade da rega por sulcos**

Segundo USDA (2003), a adaptabilidade da rega por sulcos para um determinado lugar depende essencialmente do clima predominante, os solos, a topografia do terreno, as culturas a serem implantadas e o modelo de abastecimento de água. Assim, a escolha de um método de irrigação depende também de uma série de factores técnicos, económicos e culturais concernentes às condições específicas de cada região.

- a. Clima:** Os factores relacionados com o clima são de primordial importância para a determinação das necessidades de rega de um determinado sistema. Segundo Taiz & Zeiger (1991), a determinação da evapotranspiração de uma cultura e do balanço hídrico do perfil do solo explorado pelas raízes ao longo do ciclo de desenvolvimento é fundamental para que se possam estimar as necessidades hídricas da mesma. Como a evapotranspiração de uma cultura é uma função das condições meteorológicas, é razoável inferir que, qualquer alteração nos factores meteorológicos afecta a transpiração. Dessa forma, é necessário conhecer as condições específicas de um local ou região a fim de estimar o consumo de água pelas plantas em diferentes locais de cultivo. Assim, estudos revelam que o uso de sistemas de manejo e monitoramento da rega, permitem adequar a gestão da rega à demanda climática e tomar em conta a influência de factores como o solo.
  
- b. Solos:** As características dos solos são em parte um factor importante a considerar em relação à escolha do método de rega. A irrigação por sulcos se adequa à maioria de tipos de solos não arenosos, sendo que em solos de textura fina e com alta capacidade de retenção permitem uma rega uniforme com mínimo de perdas por percolação profunda ou mesmo de escoamento superficial no final do sulco, mas para solos de textura grossa os problemas prendem-se com excesso de drenagem profunda. Segundo NRMED (1986), os solos arenosos requerem frequentes aplicações de água devido a sua fraca capacidade de retenção, enquanto os solos argilosos podem ser irrigados com menos frequência e geralmente com uma profundidade maior. As características físicas, biológicas e as interações químicas do solo com a água influenciam as características hidráulicas do solo. Contudo, a distribuição dos solos pode variar ao longo do mesmo campo podendo ser uma grande limitação sobre

alguns métodos de aplicação de água de rega. Neste contexto, existem outros aspectos que não devem passar despercebidos como a salinidade, pois em solos frequentemente irrigados por sulcos são fornecidos sais a partir da água de rega e/ou a partir do material de origem do solo. Contudo, os sais do solo são transportados pela água através da subida capilar e depositados à superfície do solo pela evapotranspiração da água.

- c. Topografia:** Para este tipo de rega a topografia é um aspecto muito importante na determinação da adequação uma vez que para se alcançarem resultados satisfatórios as eficiências dependem deste parâmetro, ou seja, a rega por sulcos é um método exigente em que a topografia deve ser adequada com suavidade de declives em que as condições superficiais devem manter-se uniformes. Contudo, em termos de percentagem o campo não deve apresentar valores superiores a 2 % na direcção do fluxo e na direcção perpendicular ao escoamento que não deve ir para além dos 10 % desde que sejam asseguradas as medidas de precaução para evitar a erosão dos solos e em contrapartida existir algum declive para não provocar a estagnação da água no campo. (NRCS, 2006).
- d. Culturas:** A rega por sulcos é apropriada para determinadas culturas por causa da susceptibilidade de algumas plantas não poderem desenvolver sob regime em submersão. Segundo a FAO (1988) as plantas que podem ser cultivadas no método de rega por sulcos são agrupadas nas seguintes categorias:
- Culturas em linha como o milho, girassol, cana-de-açúcar e soja;
  - Culturas que não desenvolvem sob regime de inundações como o tomate, vegetais, batata e feijão;
  - Árvores de fruta como citrinos e de uva (videiras);
  - Culturas de difusão (método de corrugação) como o trigo.
- e. Quantidade e qualidade de água para rega:** Na rega por sulcos deve ser usado um caudal ou volume de água de tal forma que a quantidade fornecida para a área plantada não exceda as quantidades requeridas para satisfazer as necessidades das culturas. Segundo USDA (2003), um factor favorável neste método de irrigação prende-se com

as eficiências, isto é, se o sistema estiver devidamente projectado e a gestão da água for boa esta pode chegar a ser tão eficiente como qualquer outro método de rega. Assim, dependendo do tipo de práticas e a proveniência da água de rega esta pode ser de boa qualidade ou pode conter quantidades consideráveis de material coloidal ou sais. A maior parte da água de rega contém quantidades significativas de sais ou minerais que podem por um lado ser benéficas ou por outro lado muito prejudiciais para as culturas dependendo do tipo de material que é transportado. Portanto, uma vez que a maioria das plantas consegue absorver o nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) e os iões fosfato a partir da solução do solo, estes são raramente encontrados em quantidades significativas no solo, tratando-se de sódio, sulfato e iões cloreto estes são absorvidos pelas plantas em quantidades muito reduzidas fazendo com que se acumulem nos sulcos por causa da evaporação na superfície do solo e a utilização selectiva das plantas. Contudo, a maioria das raízes das plantas se desenvolve no cume do camalhão onde esses sais se acumulam tornando-se então a irrigação por sulcos inadequada se o fornecimento da água contiver quantidades consideráveis de sais prejudiciais às plantas como, por exemplo, o sódio (USDA, 2003).

Nesta vertente, para que se tomem as devidas precauções no que tange ao dimensionamento e práticas de manejo na rega por sulcos, são apresentadas a seguir as vantagens e desvantagens que este método de rega apresenta.

**Tabela 1:** Vantagens e desvantagens do método de rega por sulcos

<b>VANTAGENS DA REGA POR SULCOS</b>	<b>DESVANTAGENS DA REGA POR SULCOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Os caudais de água podem ser pequenos ou grandes, porque o número de linhas irrigadas de uma só vez pode ser ajustado com base no fluxo disponível.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Os sais fornecidos pela água podem concentrar-se no solo e reduzirem os rendimentos das culturas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ A aplicação eficiente da água pode ser obtida se as práticas de gestão forem seguidas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ É limitado pelo declive do campo,<ul style="list-style-type: none"><li>→ Sulcos rectos – declive do terreno &lt; 2%;</li><li>→ Sulcos em contorno – declive do</li></ul></li></ul>

---

	terreno < 8%; → Sulcos corrugados – declive do terreno < 15%.
○ O investimento inicial é relativamente baixo não exigindo muita terraplanagem.	○ A corrugação é muitas vezes um grande problema porque pode criar uma superfície áspera no campo que fica difícil de movimentar implementos agrícolas ou mesmo à própria colheita.
○ Os sistemas de distribuição da água normalmente não exigem alta pressão para operar e os custos de bombeamento passam assim a ser relativamente baixos.	○ A variabilidade das condições de infiltração ao longo do sulco faz com que a água infiltra mais no início que no final do sulco.
○ Para os solos que formam crostas superficiais quando regados pelo método de inundação podem ser facilmente regados por sulcos porque a água se move através da linha sob a superfície.	○ As exigências de trabalho podem ser elevadas se o fluxo de água não for cuidadosamente regulado para se obter uma distribuição uniforme no campo.
○ A água não é aplicada directamente sobre as plantas, assim elimina o escaldamento da folhagem.	○ A lixiviação do sal é difícil de mitigar ou mesmo muita das vezes impossíveis de evitar.
○ Apresenta uma excelente drenagem superficial do campo.	○ Os problemas de solos com elevadas taxas de infiltração faz com que a água demore muito a chegar ao final do sulco, pois se vai infiltrando no início resultando então em perdas por percolação.
○ Numa linha alternativa à rega esta permite o aproveitamento de boa parte da água das chuvas.	○ A terraplanagem é muita das vezes obrigatória para preparar sulcos uniformes.

---

**Fonte:** *Manual USDA-FI, 2003.*

### **2.3. Tipos de rega por sulcos**

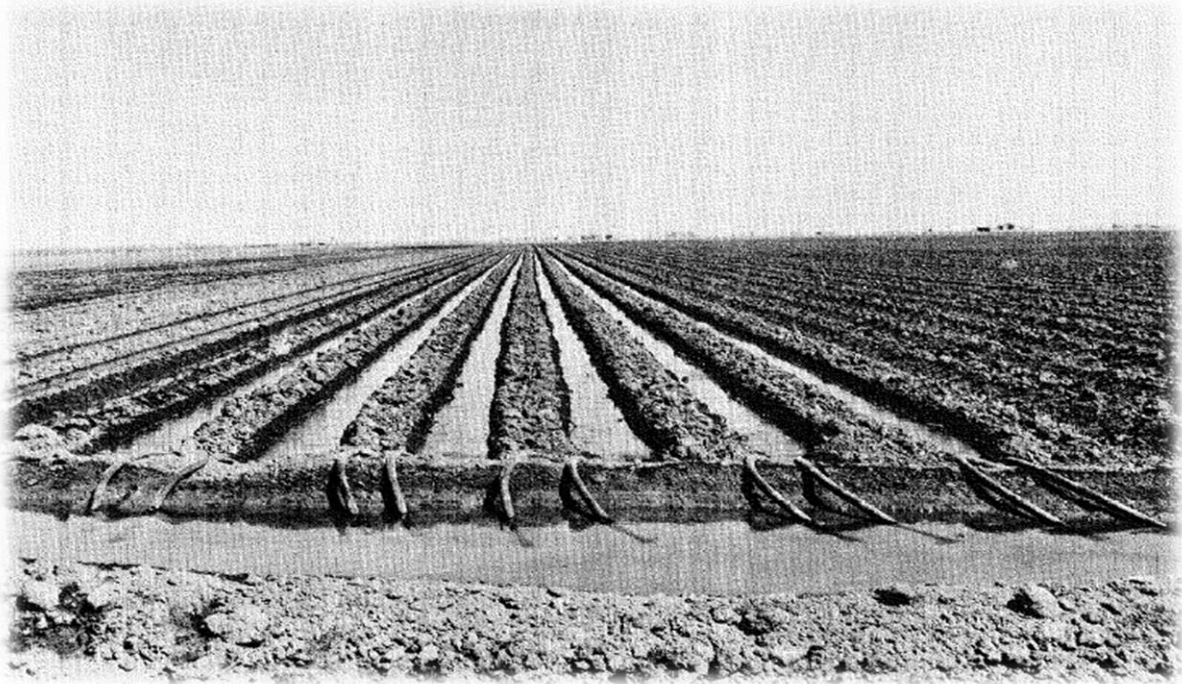
Segundo USDA (2003), a rega por sulcos subdivide-se em quatro tipos de sistemas que são dependentes da adequação de parâmetros como a topografia; o tipo de solo; o tipo de cultura; as práticas culturais e factores climáticos. Estes sistemas são indicados para culturas em linha como o milho, cana-de-açúcar, algodão, batata, fruteiras e oleaginosas.

Segundo Urchei *et al.* (2001), a vazão de entrada situa-se entre 0.2 a 2 l/s/sulco, com declives admissíveis de 2%. Assim, no sentido perpendicular ao fluxo este declive pode ir até 5% com a implementação de medidas contra a erosão, podendo existir aqui outras tentativas de ajustamentos do caudal ideal para um determinado declive. Um valor muito importante é o comprimento do sulco que dependendo do teste de infiltração varia entre 50 metros a 500 metros. Contudo, segundo USDA (2003) os sistemas de rega por sulcos podem ser classificados da seguinte forma:

#### **2.3.1. Sulcos em nível**

São caracterizados por serem canais de pequeno porte com as suas extremidades bloqueadas como mostra a *Figura. 1*. Têm como característica a rápida aplicação da água nos sulcos com fluxos muito grandes para que seja satisfeita as necessidades requeridas para rega fazendo com que se adeque mais para os solos com moderadas taxas de retenção de água (desde lenta a alta).

Em relação à topografia, ela deve ser plana com declives uniformes e suaves fazendo com que as culturas que facilmente se adequam sejam aquelas praticadas em linhas. Contudo, adequam-se para todas as áreas climáticas com excepção para zonas húmidas por causa da necessidade de drenagem que se deve fazer com o objectivo de evitar o encharcamento do campo. Os sulcos em nível têm como vantagens o facto da aplicação de água poder ser ajustada para as variações sazonais e mudar-se a taxa de aplicação sem necessidade de mudança do esquema de rega. Outras vantagens adicionais prendem-se com o facto de poder ser utilizada a água da precipitação mesmo quando estas se fizerem com grande intensidade. Assim, o operador deve, portanto, garantir que a topografia do campo e a secção transversal do sulco sejam mantidas.



**Figura 1:** Sulcos em nível.

*Fonte: Manual USDA-Furrow Irrigation (2003).*

### **2.3.2. Sulcos inclinados em linha recta**

São pequenos sulcos em canais de terra construídos em função da inclinação do terreno (*ver Figura 2*). Como o próprio nome diz, eles são construídos em linha recta com um declive uniforme do campo na direcção da rega. Assim, a duração do tempo de aplicação da água que deve fluir dentro dos sulcos depende da quantidade de água necessária para satisfazer a zona da raiz, a taxa de armazenamento do solo e a propagação lateral da água no solo. Sendo assim, em relação à sua adaptabilidade este sistema pode ser usado para culturas plantadas em fileiras com excepção dos solos que proporcionam baixa infiltração.



**Figura 2:** Sulcos graduados em linha recta.

*Fonte: Manual USDA-Furrow Irrigation (2003).*

Este tipo de sulcos têm como vantagens o facto de que pode ser usado em pequenos ou grandes canais de irrigação podendo se ajustar o número de sulcos a serem regados em qualquer etapa do processo ou mesmo ajustar o fluxo de entrada. Portanto, se houver necessidade de drenagem superficial, os próprios sulcos inclinados em linha recta actuam como canais de drenagem e trazem como limitações, as exigências de trabalho, a menos que o sistema seja automatizado. Portanto, para se obter uma distribuição uniforme de água e desperdícios mínimos da mesma o fluxo de entrada deve ser cuidadosamente regulado.

### **2.3.3. Sulcos segundo as curvas de nível**

Podem ser descritos como pequenos canais de rega dispostos segundo as curvas de nível praticadas onde a prática de sulcos em linha recta não é bem-sucedida (*ver Figura 3*). É conveniente usar este sistema em campos com uma inclinação moderada e na maioria dos



solos, excepto em solos arenosos por causa da susceptibilidade à erosão e ruptura dos camalhões. É geralmente praticada em campos com declives uniformes nas duas direcções porque a maior parte dos sulcos podem ser alinhados entre os declives. Estes podem ser praticados em zonas com contornos acentuados até 6% mas devem ser suportados por um sistema de terraços paralelos. Assim, um sistema com terraços requer na sua superfície uma terraplanagem suficiente para garantir a continuidade de um sulco com o mesmo grau.



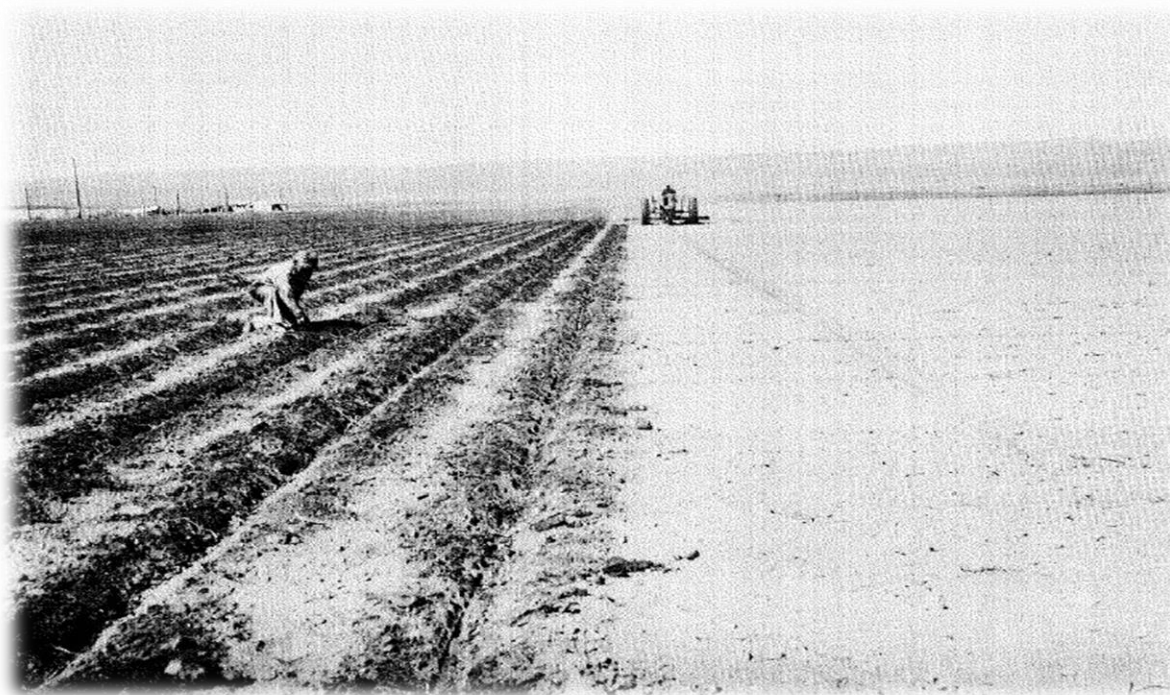
**Figura 3:** Sulcos graduados em contornos

*Fonte: Manual USDA-Furrow Irrigation (2003)*

Em termos de vantagens, estes se acomodam nas mesmas dos sulcos inclinados em linha recta e têm como limitante o facto de que se deve sempre monitorar as valas de distribuição de água por causa da erosão que requer uma protecção estrutural ou a utilização de condutas.

#### **2.3.4. Sulcos corrugados (corrugações)**

São pequenas ondulações de irrigação com canais espaçados habitualmente utilizados para irrigar culturas em terras com declives pouco acentuados (*ver Figura 4*). Um aspecto importante é de que a água de rega não cobre todo o campo, mas esta é aplicada em pequenos canais ou ondulações com um espaçamento uniforme. Assim, essas ondulações devem posicionar-se em função do declive do campo por causa da pequena capacidade dos canais de transportar água. Para se obter boas eficiências de irrigação em sulcos corrugados as pistas de terra devem ser feitas com solos homogêneos e a água aplicada de com um bom plano de irrigação. Este método é adequado para regiões com moderada pluviosidade e campos lisos com encostas com declives que variam de 1 a 4%. Este método não pode ser usado em áreas húmidas porque geralmente cria um sério risco de erosão.



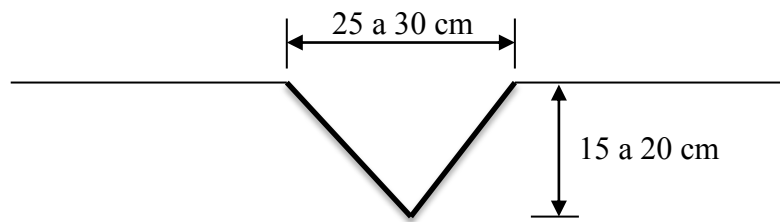
**Figura 4:** Sulcos corrugados (Corrugações).

*Fonte: Manual USDA-Furrow Irrigation (2003).*

#### 2.4. Características dos sulcos

A textura e a estrutura de um solo, o caudal a ser aplicado, a cultura e a maquinaria agrícola empregue são os principais parâmetros que caracterizam a forma de um determinado sulco (Castro, 2001). Assim, para uma secção transversal mais uniforme com boa resistência na sua deformação são mais adequados os solos de textura argilosa, sendo que para os solos com baixa taxa de infiltração requerem a construção de sulcos mais espaçosos em termos de largura e menos profundos (parabólicos ou trapezoidais) incrementando o perímetro molhado e a área de infiltração. Neste contexto, segundo Castro (2001) as formas dos sulcos podem ser subdivididas em três formas diferentes nomeadamente:

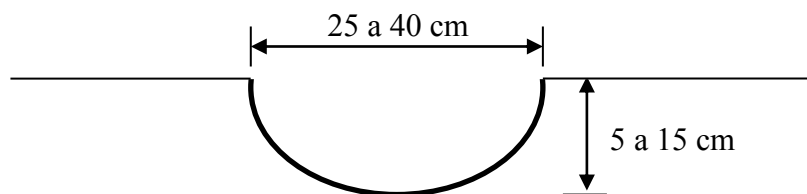
- a) **Sulcos triangulares:** São os mais eficientes no que tange ao transporte do caudal adequado e são os mais fáceis de serem mantidos.

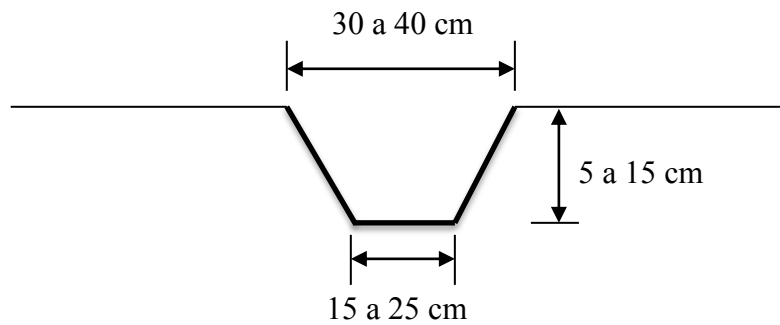


**Figura 5:** Representação da forma triangular de um sulco.

*Fonte:* Adaptado de Castro (2001).

- b) **Sulcos parabólicos e sulcos trapezoidais:** Têm como característica a condução de caudais acima de 3 l/s.





**Figura 6:** Representação da forma parábólica e trapezoidal de um sulco.

*Fonte: Adaptado de Castro (2001).*

#### 2.4.1. Declive e comprimento dos sulcos

Segundo Castro (2001), um sulco com acentuado declive promove uma grande velocidade da água de rega que pode resultar na fraca retenção da mesma nos sulcos provocando então a erosão dos solos. Assim, em sulcos sem declives as perdas por percolação são maiores porque a água tende a infiltrar-se mais no início do sulco. Em relação ao comprimento, um sulco muito curto ou muito longo apresenta a sua inconveniência. Uma operação em sulcos muito curtos requer muita mão de obra, custos avultados de operação, maior perda de área de cultivo com a construção de canais de condução e dificuldades de mecanização. Bem longe destas limitantes, os sulcos longos proporcionam maior perda por percolação, menor uniformidade de irrigação e apresentam susceptibilidade de a água das chuvas acumularem-se causando erosão. De acordo com Castro (2001), em relação ao comprimento do sulco devem ser considerados os seguintes factores:

- a) **A forma e o tamanho da área para irrigação:** O comprimento do sulco deve ser igual em toda área terciária de irrigação para providenciar um fluxo e tempo de aplicação igual em toda a área.
- b) **Tipo de solo:** Em solos argilosos os sulcos podem ser mais longos porque a taxa de infiltração é menor o que resulta em menor perda por percolação e, em solos

arenosos justificando-se pela maior percolação os sulcos devem ser curtos dentro de intervalos recomendados na análise das condições acima mencionadas para escolha do comprimento.

- c) **Declive do campo:** Sulcos com grande declive promovem alta velocidade da água e conseqüentemente podem provocar a erosão no mesmo. Assim, em sulcos sem declive, a água infiltra mais no início do sulco fazendo com que as perdas por percolação sejam maiores. A escolha do declive mais adequado depende basicamente do tipo de solo e o regime de precipitações. Solos argilosos são menos erodíveis que os arenosos, por isso permitem declives maiores. Em regiões com chuvas intensas os sulcos devem ter menor declive para evitar a erosão.
- d) **Cultura:** Por causa do seu sistema radicular, as culturas que têm um sistema profundo podem ser cultivadas em sulcos longos porque a água facilmente utilizável é maior e, portanto é preciso ter maior tempo de oportunidade e conseqüentemente sulcos com maiores comprimentos.

Contudo, resumindo os parâmetros acima descritos, seguem-se as recomendações de alguns autores sobre a forma, o declive e comprimento ideal para um determinado sulco como pode ser visto na tabela seguinte:

**Tabela 2. Recomendações das características ideais para um determinado sulco**

<b>TIPO</b>	<b>Recto</b>	<b>Em contorno</b>	<b>Corrugados</b>
<b>FORMA</b>	<b>Triangular</b>	<b>Triangular ou parabólico</b>	<b>Triangular ou parabólico</b>
Declive usável	0,02 a 15	-	Até 15%
Declive aconselhável	0,05 a 0,5%	0,5 a 2%	0,5 a 12%
Declive ideal	0,1%	1%	1 a 2%
Comprimento	100 a 500 m	70 a 150 m	30 a 180 m
Uso	Cultivo em	Plantio segundo as	Culturas com alta

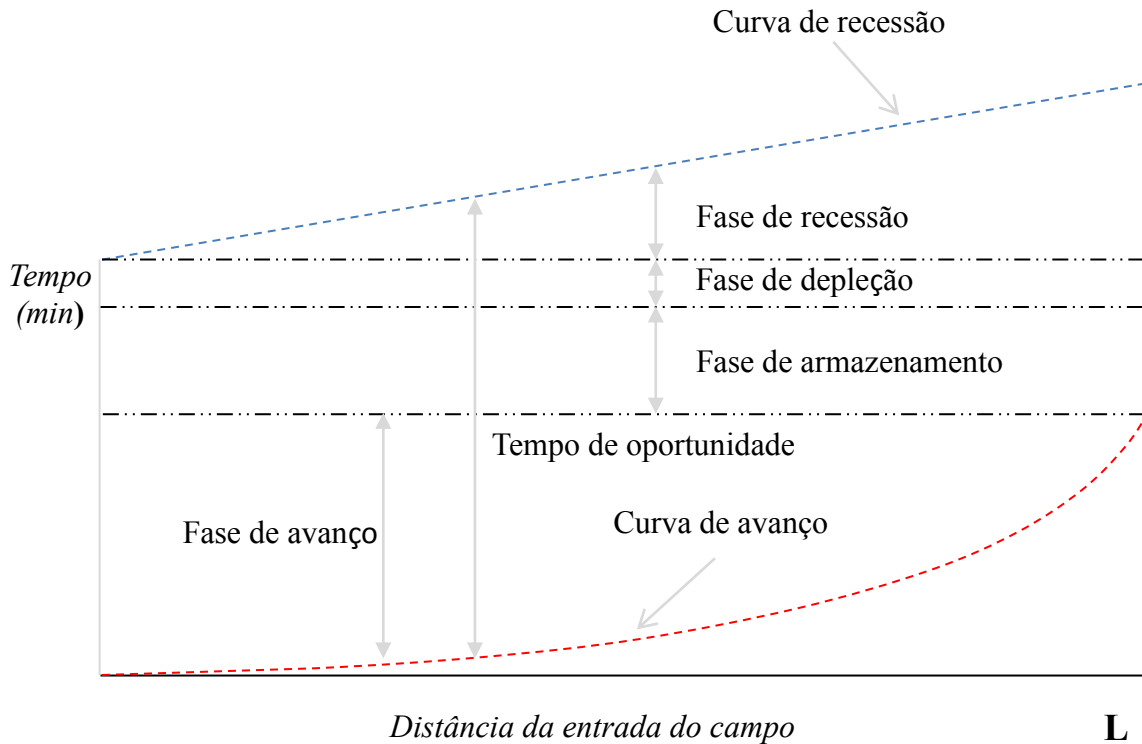
	linhas	curvas de nível	densidade: pastagem, trigo, aveia
Observação	-	Mais profundos que os rectos devido ao maior declive	Pequenos sulcos de 10 cm de profundidade, espaçados de 40 a 75 cm no sentido do declive. Q máx=0,5 l/s

*Fonte: Salassier (1989) citado por Castro (2001).*

## **2.5. Fases da rega por sulcos**

É um procedimento normal caracterizar a rega por sulcos em quatro fases nomeadamente a fase de avanço, a de depleção, a de armazenamento e a fase de recessão. Assim, a importância de cada uma dessas fases da rega é dependente do tipo de rega a ser implementado uma vez que na rega por sulcos a fase de recessão tem pouca importância se o fluxo de água introduzido no sulco for pequeno. O intervalo de tempo decorrido entre as fases de avanço e de recessão para cada ponto ao longo da parcela é que determinam o tempo de oportunidade para infiltração.

Neste contexto, uma elevada uniformidade de distribuição da água no sulco é assegurada quando as variações no tempo de infiltração ao longo do comprimento das parcelas são pequenas (Frizone-ESALQ/USP). Segundo o NRCS (2006), a fase de avanço, de depleção, de armazenamento e a fase de recessão que são considerados os quatro estágios gerais do processo de rega por sulcos podem ser representados num esquema ilustrativo (*ver Figura 7*).



**Figura 7:** As quatro fases básicas de um evento de rega por gravidade mostrando a trajetória da água durante esse processo.

**Fonte:** Adaptado do manual NRCS (2006).

A fase de avanço ocorre entre a introdução da água no campo e quando essa mesma água atinge o final do sulco. Desta forma, quando se dá o término da fase de avanço logo após o corte no fornecimento da água no sulco, começa a fase de depleção sendo que esta só começa após o corte do fornecimento. Contudo, depois do fluxo de entrada ter terminado, a água afasta-se do domínio da drenagem no campo e dá-se imediatamente a infiltração, sendo esta a fase de recessão. A fase de armazenamento descrita anteriormente deve ser compreendida como o espaço de tempo entre o fim da fase de avanço e o tempo de corte da entrada de água no sulco ou na faixa.

## **2.6. Desempenho de rega por sulcos**

### **2.6.1. Generalidades**

O desempenho de um método de rega deve ser avaliado através da uniformidade de distribuição e da eficiência de aplicação sendo que as baixas uniformidades traduzem condições de excesso ou de déficit de infiltração em partes da parcela (Burt *et al.*, 1997). O conceito de eficiências em campo não deve ser visto só como perdas significativas de volumes de água, mas também como a uniformidade de distribuição, isto é, estas dependem essencialmente das variáveis que caracterizam os métodos de rega e são normalmente intervenientes nos modelos de simulação. Por seu lado, a eficiência de aplicação depende das mesmas variáveis relativas à uniformidade de distribuição (*ver Tabela 3*).

Segundo Malvyn (1986), estudos de campo são necessários para definir quantitativamente o desempenho do sistema de rega por gravidade relativamente aos aspectos físicos, o seu desenho e maneo do sistema sendo que este ultimo deve ser repetido periodicamente para garantir que o seu desempenho seja mantido. Assim, as variáveis que caracterizam um determinado método, quer sejam definidas empiricamente pelo agricultor ou resultantes da definição do projecto ou de simples opções na escolha de equipamentos e soluções de campo, são as mesmas para a uniformidade e para a eficiência, querendo dizer que a eficiência depende da uniformidade. Segundo Testezlaf (2001), no que se refere à sua praticidade, como qualquer outro método de rega, a rega por sulcos apresenta também algumas limitações que dificultam a sua utilização pelos regantes, nomeadamente a seguir:

- Verificam-se sempre grandes perdas de água por runoff no final do sulco;
- Verificam-se grandes dificuldades de maneo de maquinaria agrícola sobre os sulcos;
- Verifica-se acumulação de sais entre os sulcos;
- Exigência de mão-de-obra especializada para operacionalização correcta do sistema;
- Verificam-se dificuldades de automação do sistema no que tange à distribuição uniforme do fluxo.

Para esta análise, são apresentadas na *Tabela 3* as variáveis que influenciam o desempenho do método de rega por sulcos.



**Tabela 3.** Resumo das variáveis que influenciam a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição do método de rega por sulcos.

<b>UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO E EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO</b>	
<b>Variáveis do sistema</b>	
Caudal unitário	
Comprimento do sulco, faixa ou canteiro	
Declive longitudinal	
Precisão do nivelamento	
Características de infiltração do solo	
Rugosidade hidráulica	
Forma transversal do sulco ou faixa	
<b>Variáveis de gestão</b>	
Manutenção do nivelamento	
Tempo de duração da rega	

**Fonte:** *Pereira et al. 2002*

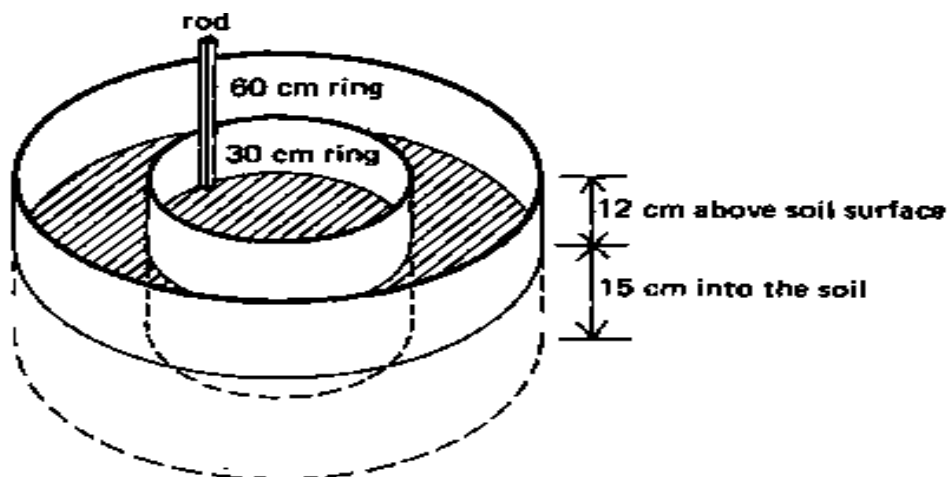
Segundo Gonçalves *et al.* (1999), para um método de rega são essenciais um bom projecto, o apoio de avaliações de campo, manutenção cuidadosa e adequada condução da água no campo. A título de exemplo no método de rega por sulcos, o modelo SADREGA que combina a simulação da rega e da condução da rega, recorrendo à análise multicritério e a bases de dados SIG, permite uma boa ordenação e escolha de projectos considerando uma variedade de processos de rega como o nivelamento e equipamentos. De acordo com Brito (2012), na mesma vertente da modelação, o *software* NRCS Surface do USDA é também uma ferramenta óptima, pois este combina parâmetros de simulação como o controlo de entrada, a topografia e a geometria do campo e as características de infiltração dos solos.

## 2.7. Parâmetros para a avaliação do método de rega

### 2.7.1. Infiltração dos solos

A infiltração descrita neste trabalho é o movimento de água para dentro do solo marcado pela acção da gravidade e pelo potencial capilar e/ou matricial deste mesmo solo. Ela controla essencialmente a quantidade de água que entra no seu reservatório assim como o avanço e a recessão da frente do fluxo de água superficial. Assim, o processo de infiltração de água no solo depende de vários factores que, segundo Rawls *et al.* (1996) estes podem ser descritos da seguinte forma: A textura do solo; o teor de matéria orgânica; a porosidade e tipo de argila; a humidade do solo; a capacidade de retenção e a condutividade hidráulica. Segundo Brouwer *et al.* (1985) citado por Gonçalves (2006), a infiltração dos solos depende de factores físicos, hidráulicos, da humidade do solo, a história de humedecimento anterior, das mudanças estruturais nos poros e a circulação do ar. Neste processo da rega por sulcos a infiltração decompõe-se nas componentes vertical e horizontal que são em função do tipo de solo, sendo que para cada tipo de solo há um padrão de humedecimento.

Contudo, o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planear e delinear sistemas de rega e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo. A *Figura 8* é o conjunto “anel duplo” que é usado para determinar a infiltração da água no solo.



**Figura 8:** Ilustração do anel duplo para o ensaio da infiltração no campo.

*Fonte:* Brouwer *et al.* (1995).

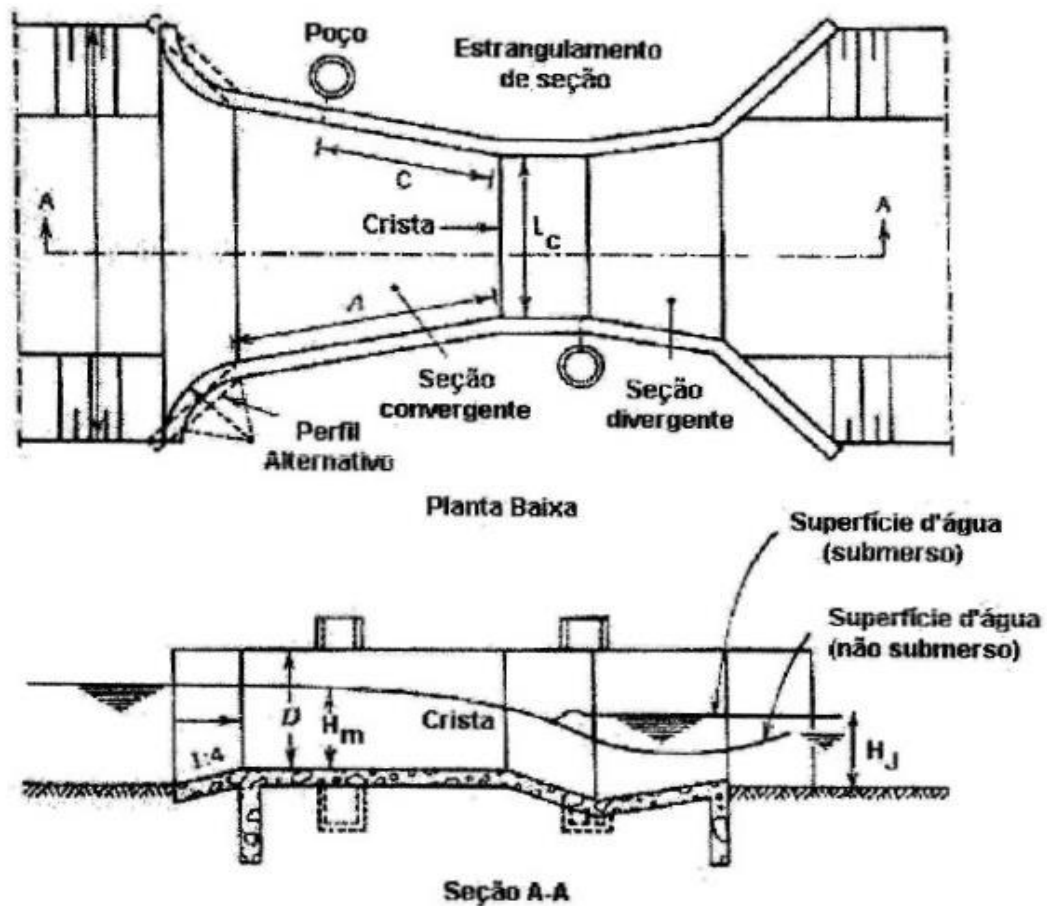
Assim, de acordo com Rita (2003) a taxa de infiltração da água no solo é influenciada pelos seguintes factores:

- a) **Tempo:** A taxa de infiltração da água no solo é inversamente proporcional ao tempo, isto é, decresce com o tempo;
- b) **Teor de humidade inicial:** A taxa de infiltração decresce com o aumento do teor de humidade no solo;
- c) **Condutividade hidráulica:** Quanto maior for a condutividade hidráulica da água no solo a taxa de infiltração será também maior;
- d) **Textura do solo:** A textura refere-se à proporção de argila, limo e areia do solo. Assim, a classificação dos solos é determinada pela sua textura. Os solos argilosos são mais agregados quando comparados com os de textura grossa que apresentam macroporos. Os solos arenosos são mais permeáveis caracterizados como solos de boa infiltração, sendo este tipo de solo o que menos se sujeita a erosão. A propriedade instável de um solo é a sua estrutura, esta através de manifestações pode modificar a textura do solo. Associadas a textura e a estrutura, resultam a porosidade e a permeabilidade. Um solo com boa porosidade é bastante permeável, infiltrando a água de forma abundante e de maneira distribuída. Neste contexto, no que diz respeito à matéria orgânica, a sua incorporação com o solo é bastante eficaz na redução da erosão. Portanto, há o favorecimento no desenvolvimento de micro-organismos do solo e uma melhor penetração das raízes, o que integra as partículas do solo não permitindo o desagregamento das mesmas.

### **2.7.2. Medição de caudal (Parshall Flumes)**

Existem vários procedimentos para medir o caudal num determinado canal. Segundo Bellinaso (2002), o de “*Parshall Flumes*” e o de “*Cutthroat Flumes*” pela sua praticidade têm ganhado muita apreciação. Assim, devido ao presente objecto de estudo que é a medição de caudal nos canais de rega (sulcos), será tratado somente o descrito pelo Parshall Flumes.

Neste contexto, o Parshall Flume é uma estrutura hidráulica de medição da vazão mais comum usado em sistemas de rega. Esta estrutura de medição foi desenvolvida por Ralph L. Parshall em 1922 no Laboratório de Hidráulica na Universidade Estadual do Colorado. Assim, tem como vantagem o simples facto de os seus escoadores poderem apresentar condutos livres ou submersos sendo que para este último é usado quando o nível de água na secção divergente (jusante) do medidor for suficiente para reduzir o escoamento (ver Figura 9).



**Figura 9:** Vista superior e lateral do Parshall Flume.

*Fonte:* Bellinaso (2002).

Para melhor resultado no seu uso, existem critérios hidráulicos que devem ser seguidos para sua instalação em campo, ou seja, os flumes devem ser instalados em locais onde não haja turbulência, de preferência em trechos retilíneos. Segundo Martins & Paiva (2001), a jusante de uma curva é o local propício às turbulências. Contudo, o Parshall Flume apresenta inúmeras vantagens que preterem os outros a este método como pode ser visto a seguir:

- Apresentam facilidade de aquisição devido ao custo baixo;
- Podem funcionar como um dispositivo em que uma só medição de carga é necessária (escoamento livre);
- Pode ser usado sob condições de submersão elevada;
- Operam com pequena perda de água e;
- É praticamente insensível à velocidade de aproximação;

### 2.7.3. Padrões de humedecimento dos solos

A fim de obter uma zona radicular uniformemente humedecida, os sulcos deverão ser devidamente espaçados, ter um declive uniforme e a água de rega deverá ser aplicada rapidamente. À medida que a zona da raiz da crista vem sendo humedecida, o movimento da água para baixo do solo é menos importante do que o movimento lateral da mesma. Contudo, os movimentos da água para as laterais e para baixo dependem basicamente do tipo de solo, como pode ser demonstrado na figura abaixo, (Brouwer *et al.*, 1985).



**Figura 10:** Diferentes padrões de humedecimento dos sulcos em função do tipo do solo.

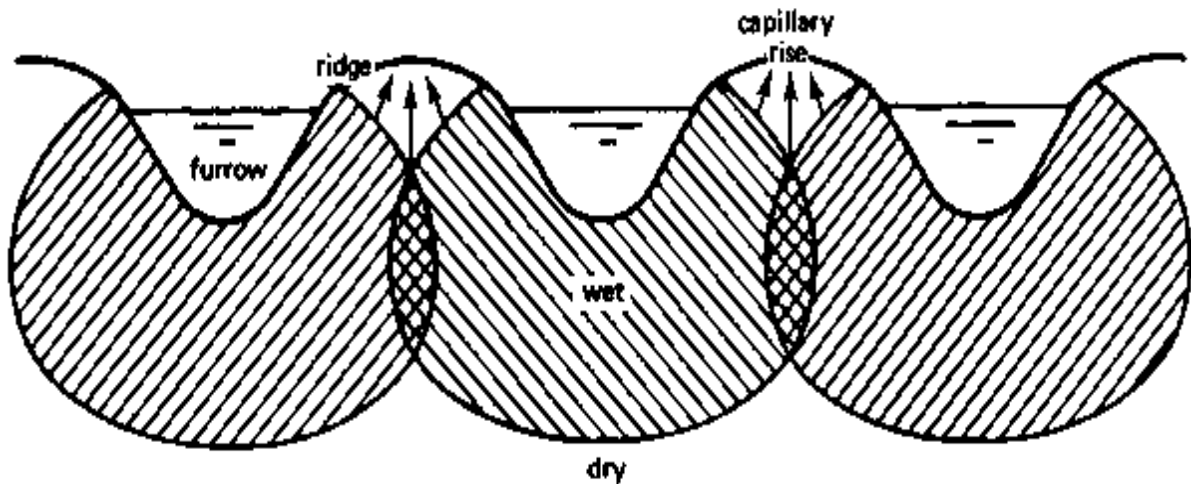
**Fonte:** Pinho (2006).

#### 2.7.4. Padrão ideal de humedecimento dos solos

Os padrões ideais de humedecimento adjacentes consistem na sobreposição de uns aos outros, e não há um movimento ascendente de água (ascensão capilar) que molha o cume inteiro fornecendo assim a zona da raiz com água como mostra a *Figura 11*. Segundo a FAO (1988), os padrões indesejáveis de humedecimento dos solos podem ser causados pelos seguintes factores:

- Condições naturais desfavoráveis (camada superficial compactada; inclinação irregular dos sulcos);
- Um *layout* pobre (espaçamento do sulco muito largo);
- Má gestão (fornecimento de um caudal muito alto ou muito pequeno, que provoca problemas de excesso ou de insuficiência respectivamente);
- Condições naturais desfavoráveis.

Assim, as camadas com solos compactados ou com diferentes tipos de solos têm o mesmo efeito sobre a rega por sulcos, isto é, para se obter uma zona da raiz uniformemente humedecida, a superfície da bacia deve estar nivelada e a água de rega deve ser aplicada rapidamente.



**Figura 11.** Representação do padrão ideal de humedecimento dos solos na rega por sulcos.

*Fonte: Pinho (2006).*

### **2.7.5. Geometria da secção transversal**

A secção transversal é importante para avaliar a geometria dos sulcos, sendo necessário efectuar medições antes e depois da rega. Segundo Pinho (2006) a geometria do fluxo da rega por sulcos é um parâmetro difícil de descrever, pois a forma dos sulcos sofre mudanças contínuas como resultado da erosão e deposição de solos causada pela água.

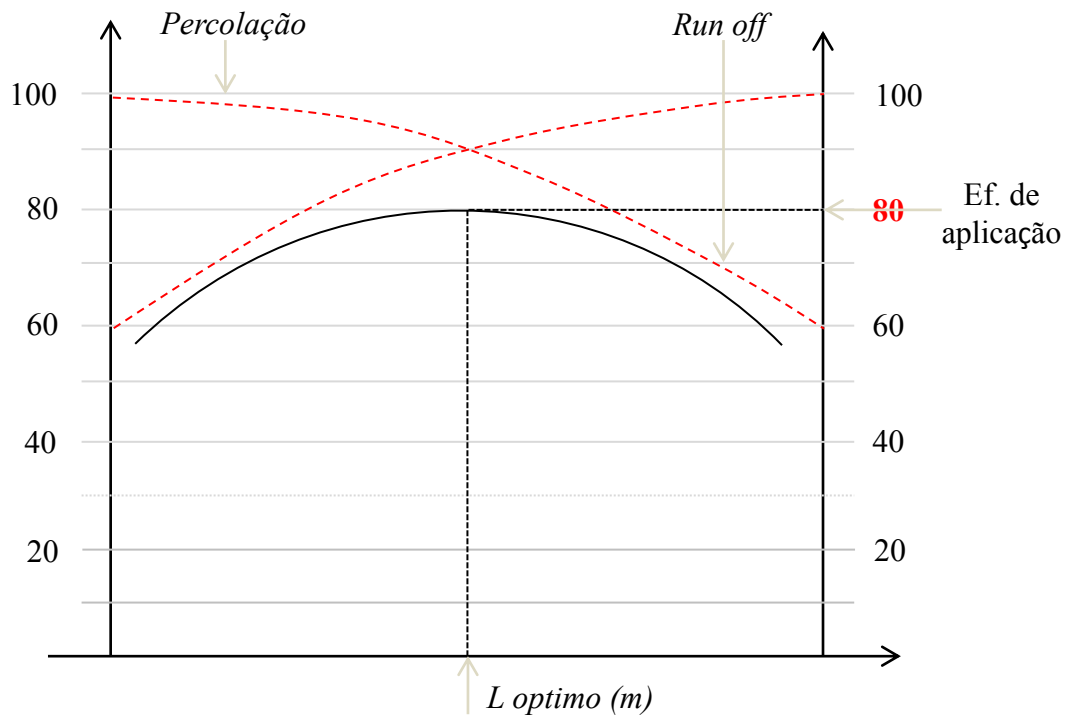
Segundo Brouwer *et al.* (1985) para a determinação da secção transversal do sulco recomenda-se o uso do perfilómetro, que é constituído por um suporte e varetas graduadas. Assim, os dados obtidos podem ser numericamente integrados para desenvolver relações geométricas como área versus profundidade; perímetro molhado versus profundidade; largura versus profundidade.

### **2.8. Optimização do método de rega por sulcos**

Segundo Walker (1989), o sistema de rega por sulcos deve ser optimizado com vista a evitar perdas excessivas de água, problemas de salinidade e erosão dos solos. Frequentemente são observados excessos de aplicação da água que resultam em perdas por escoamento superficial e aplicação não uniforme da mesma nos campos. Nesta vertente, podem ser tomadas medidas de maneio com vista a melhorar o desempenho de todo um sistema de rega por sulcos sendo que existe uma estreita relação com os seguintes parâmetros: Quando a opção é a mudança do caudal aplicado ( $q$  em l/s/sulco), o tempo de aplicação ( $t$  em min) ou o comprimento do sulco ( $L$  em metros) deve-se considerar que serão afectados simultaneamente a fase de avanço, a infiltração e a percolação profunda.

De acordo com Azevedo *et al.* (2001), o caudal aplicado é o valor de descarga máxima da água que se deve aplicar num determinado sulco sendo que os valores recomendados variam em função do declive do terreno, tipo de solo e comprimento do sulco. Neste contexto, o tempo de aplicação da água deve ser compreendido como o tempo que vai desde a fase de avanço até ao final dos sulcos e o tempo que é dado entre o tempo de corte e o começo da infiltração que é chamado de ( $t$ . lag em min), e varia em conformidade com a lâmina aplicada. Outro parâmetro importante a considerar é o comprimento máximo ideal dos sulcos, pois ele deve ser dimensionado em função das características do campo e a capacidade de operação dos regantes.

Contudo, o comprimento do sulco está directamente relacionado com a textura do solo e o declive sendo que para um mesmo caudal e mesma profundidade de aplicação existe uma variabilidade podendo estes ser mais longos em solos argilosos do que em solos francos ou arenosos. Assim, a condição de optimização do comprimento do sulco é aplicável para um caudal fixo sendo que se variar o comprimento do sulco (L) no sentido do acréscimo, o runoff vai diminuir e consecutivamente a percolação irá aumentar (ver Figura 12).



**Figura 12:** Optimização do comprimento do sulco.

*Fonte:* Notas da aula de projectos de irrigação (Brito, 2012).

## 2.9. Software NRCS Surface

### 2.9.1. Controlos especiais

De acordo com o manual NRCS (2006), o *software* NRCS Surface apresenta dois grupos de simulação onde o primeiro serve para derivar os parâmetros das medições de campo e o segundo serve para simular as alternativas das configurações do sistema como parte interactiva das características do projecto. Neste contexto, para uma melhor abordagem, o



software apresenta grupos de planilhas divididas em características físicas do campo para facilitação do utilizador.

### 2.9.1.1. Topografia e geometria do campo

Como é apresentado na planilha a seguir (ver Figura 13), este parâmetro é referente à geometria da base do campo que inclui o comprimento e/ou a distância do percurso da água até o final do sulco, caracterizando também o sistema de irrigação por superfície, as unidades de largura e o espaçamento entre os sulcos e, à natureza do limite do campo no sentido do fluxo de saída ou drenagem.

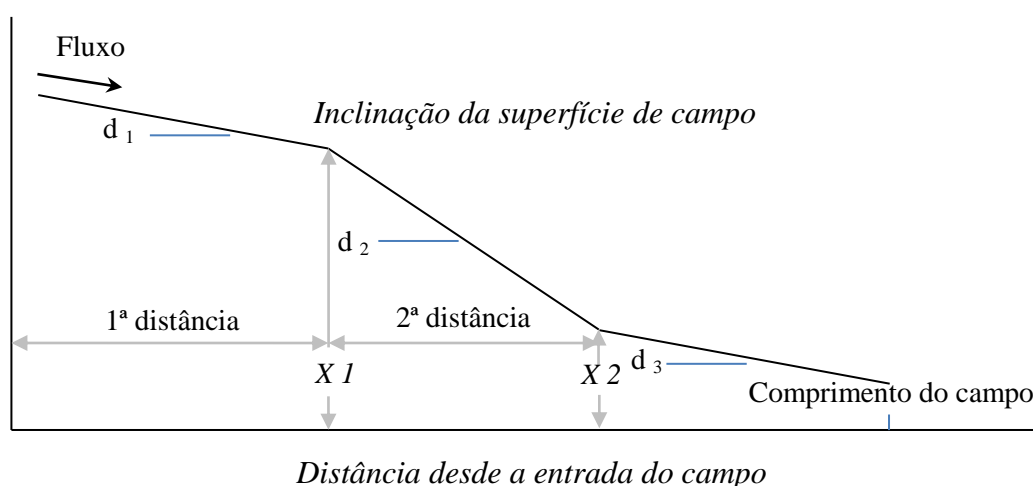
The screenshot shows the 'Field Topography/Geometry' panel with the following data:

Section	Parameter	Value
Field Geometry	Field Length, m	360.0
	Field Width, m	200.0
	Field CrossSlope	0.00000
Field System	Field System	Furrow Irrigation
	Border/Basin Unit Width (m) or Row Spacing, m	1.00
Downstream Boundary	Free Draining	<input checked="" type="checkbox"/>
	Blocked End	<input type="checkbox"/>
Manning - n Values	First Irrigations	0.040
	Later Irrigations	0.030
Compound Slopes	First Slope	0.00800
	Second Slope	0.00800
	Third Slope	0.00800
	First Distance, m	360.0
Second Distance, m	360.0	
Flow Cross-Section	Top Width (m)	0.360
	Middle Width (m)	0.280
	Bottom Width (m)	0.100
	Maximum Depth (m)	0.120
	Manning Equation Calculator	
	Slope	0.00000
	Manning n	0.0000
	Flow, lps	0.0000
Depth, m	0.0000	
Area, m <sup>2</sup>	0.0000	
Top Width, m	0.0000	
Wetted Perimeter, m	0.0000	
Flow Cross-Section (Outputs)	Rho1	0.4796
	Rho2	2.8261
	Sigma1	0.6272
	Sigma2	1.4245
	Gamma1	1.4531
	Gamma2	0.5419
	Cmh	0.3626
	Cch	0.7765

**Figura 13:** Painel das características de campo referentes à topografia e geometria do campo para simulação da rega por sulcos.

O NRCS Surface avalia portanto, o sistema hidráulico da rega ao longo de um comprimento unitário, isto é, se a largura da unidade é de um (1) metro, o fluxo deve ser simulado para essa unidade de descarga que flui dentro dessa largura, e se o sistema estiver configurado para rega por sulcos, a simulação avalia o fluxo num sulco médio. Contudo, em relação às características do campo, o utilizador pode desejar introduzir os dados de campo referentes à topografia e geometria do campo. A geometria e topografia do campo para uma superfície irrigada é caracterizada pelos seguintes parâmetros: O comprimento e largura do campo; A inclinação transversal do campo; O tipo do sistema (sulco ou bacia); O espaçamento da unidade de bacias ou espaçamento entre os sulcos; O coeficiente de Manning; Três valores de inclinação no sentido do fluxo e; Quatro medidas da secção transversal do fluxo.

Assim, este sistema de simulação analisa distintivamente na categoria “*Compound slopes*” da *Figura 13*, três (3) valores de inclinação do campo, sendo elas **First Slope 0.00800**, **Second Slope 0.00800** e **Third Slope 0.00800**, ou seja, se o campo tiver um declive não uniforme podem ser introduzidos até três valores diferentes de inclinação como mostra a *Figura 14*. Em caso do declive do campo ser uniforme este valor é então introduzido repetitivamente três vezes na planilha (ver *Figura 13*).



**Figura 14:** Ilustração da múltipla inclinação do campo na rega por gravidade.

**Fonte:** Adaptado do NRCS (2006).

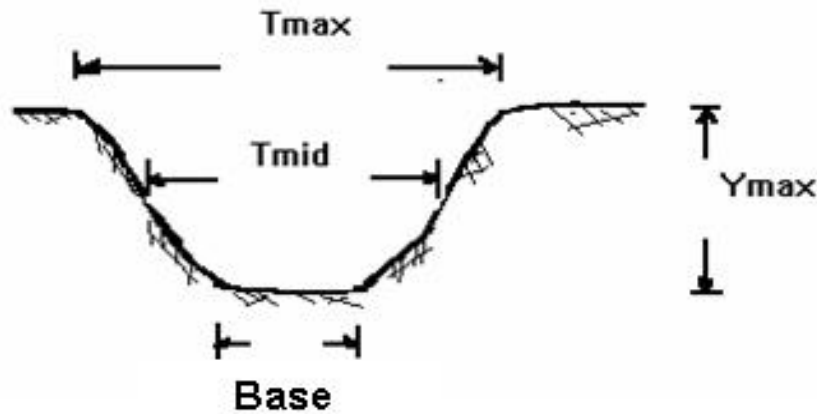
### 2.9.1.2. Coeficiente de Manning

O valor da rugosidade dos sulcos expresso através do coeficiente de Manning ( $n$ ) é também uma característica geométrica do campo em que este é ao mesmo tempo com o valor do declive e do caudal inseridos na *Figura 14* como é demonstrado na janela ao lado. Na rega superficial e o seu respectivo “*design*” têm como considerações importantes para a avaliação às mudanças que ocorrem durante o processo de rega na superfície do campo, isto é, para um solo recém-cultivado, ele apresenta geralmente características irregulares hidraulicamente quando comparado com um solo que foi suavizado pelo escoamento superficial da água durante a rega. Assim, este *Software* analisa distintivamente com base nas estimativas de duas condições de campo que podem ser descritas como a condição da primeira rega e a condição posterior à irrigação. Os sulcos recém-construídos dependendo da agregação do solo normalmente apresentam valores de Manning em torno de 0.03 e 0.05, e para sulcos já irrigados os valores rondam em torno de 0.02 e 0.04.

Manning Equation Calculator	
Slope	0.0000
<b>Manning n</b>	<b>0.0000</b>
Flow, lps	0.0000
Depth, m	0.0000
Area, m <sup>2</sup>	0.0000
Top Width, m	0.0000
Wetted Perimeter, m	0.0000

### 2.9.1.3. Secção transversal do sulco

Esta característica é determinada com base na avaliação de quatro parâmetros que são dados obtidos com base nas medições de campo. Assim, na planilha referente a “Topografia e geometria do campo” podem ser inseridos esses dados requeridos pelo *software* NRCS Surface nas seguintes janelas: *Largura superior* **Top Width (m)**; *Largura média* **Middle Width (m)**; *Largura da base* **Bottom Width (m)** e; *Profundidade máxima* **Maximum Depth (m)**, sendo estes dados requeridos em caso de um sulco com a secção trapezoidal como pode ser visto na figura seguinte:



**Figura 15.** Representação de larguras e profundidade máxima referente à secção transversal do sulco.

*Fonte: NRCS (2006).*

Assim, em caso de sulcos que apresentam outras formas como o parabólico e o triangular, são consideradas a largura do sulco e a altura máxima como foi apresentado no ponto referente sobre as características dos sulcos.

#### 2.9.1.4. Características de infiltração

A planilha que deve ser usada para calibrar os dados de infiltração no *software* NRCS é apresentado na *Figura 16*. Segundo o NRCS (2006) na planilha de infiltração para obtenção dos melhores resultados, podem ser inseridos até quatro funções individuais de infiltração definidas da seguinte forma: (1) uma função sob condições de fluxo contínuo e (2) uma função para regas posteriores com fluxo contínuo. Em caso ser aplicado o método de rega intermitente que necessita de equipamento automatizado e especial, usa-se também as seguintes funções individuais: (3) uma função da primeira rega sob fluxo de pico e; (4) uma função para regas tardias sob o fluxo de onda.

Inflow Controls | Field Topography/Geometry | **Infiltration Characteristics** | Hydrograph Inputs | Design Panel

$$Z_{req} = K\tau_{req}^a + F_o\tau_{req} + C'$$

	Initial Continuous Flow Conditions	Later Continuous Flow Conditions	Initial Surge Flow Conditions	Later Surge Flow Conditions
$a$	0.356	0.000	0.259	0.000
$K, ft^3/ft/mn^a$	0.00280	0.00000	0.00359	0.00000
$F_o, ft^3/ft/mn$	0.000170	0.000000	0.000150	0.000000
$C, ft^3/ft$	0.00000	0.00000		
Qinfiltr, lps	2.000	2.000		

Two-Point  
TL, min: 0.0  
T.5L, min: 0.0  
.5L, m: 0.0

Tables Tables Tables Tables

Simulate

Root Zone Soil Moisture Depletion, zreq, meters  
0.100 0.000 0.100 0.000

Required Intake Opportunity Time, min  
444 0 544 0

Units of Measure  
 English, cfs  
 English, gpm  
 Metric

Surface Irrigation Configuration  
 Border/Basin Irrigation  
 Furrow Irrigation

Figura 16: Painel das características de campo referente à infiltração dos solos.

### 2.9.1.5. Controlo de fluxos

Na Figura 17, é apresentada uma planilha que compreende duas (2) opções de entrada. Esta planilha corresponde exactamente à introdução de parâmetros obtidos com base nas medições de campo como “o caudal **Simulated Unit Inflow, lps** 2.000 e tempo de corte **Time of Cutoff, mn** 240.0” como é mostrado na figura 17. O tempo de corte é de extrema importância neste modelo de simulação uma vez que ele regula a quantidade de água que deve ser fornecida para um determinado comprimento do sulco sem provocar perdas por escoamento superficial ou mesmo insuficiência no fornecimento.

**Inflow Controls** | Field Topography/Geometry | Infiltration Characteristics | Hydrograph Inputs | Design Panel

**Simulation Shutoff Control**

By Elapsed Time or No. of Surges  
 By Target Application, zreq

**Inflow Regime**

Continuous Flow  
 Continuous Flow w/ Cutback  
 Continuous Inflow Hydrograph  
 Fixed-Cycle Surge Flow  
 Fixed-Cycle Surge Flow w/ Cutback  
 Variable-Cycle Surge Flow  
 Variable-Cycle Surge Flow w/ Cutback

**Simulation Shutoff Control**

By Elapsed Time or No. of Surges  
 By Target Application, zreq

**Run Parameters**

Simulated Unit Inflow, lps	2.000
Time of Cutoff, mn	240.0
Dtm, mn	1.00
No of Surges	1
On-Time, mn	30.0
Cutback Ratio	1.00
CB Length Fraction	1.0
Surge Adj Ratio	1.00
Surge Adj Time, mn	0.00

**Special Numerical Coefficients**

Phi	0.600
Theta	0.600
LF	0.10

**Simulation Speed**

**Graphic Profile Slope**

**Figura 17:** Planilha para introdução de dados como caudal e tempo de corte de rega.

Assim, são apresentadas a seguir as definições dos grupos de parâmetros e as opções de simulação que são requeridas nesta planilha “Inflow Controls”.

- a) **Interrupção da simulação:** O corte num sistema de rega por sulcos ocorre quando é interrompido o fornecimento da água nos sulcos. Ao contrário de sistemas como o de gota-a-gota ou aspersão, isto representa o fim das aplicações de água, mas para este sistema de rega por sulcos tem uma fase contínua ou recessão, que podem, dependendo do tipo de sistema e da sua configuração, envolver uma aplicação significativa de água para as partes do campo. Assim, o corte do caudal a ser introduzido no campo para fins de execução nesta planilha é caracterizado por uma caixa de definição denominada, “Time of Cutoff” ou tempo de corte.

- b) **Rregime do fluxo de entrada:** Esta opção de seleção denominada de controlo do regime de entrada é muito importante para caracterizar a forma de aplicação do caudal no campo. Assim, dependendo de como o usuário pretende fazê-lo, esta apresenta opções de escolha a serem observadas na *Figura 18*.
- c) **Parâmetros de execução:** Corresponde a unidade da planilha mais importante porque é nesta onde se faz a introdução de dados para simulação como caudal unitário e o respectivo tempo de corte dados estes obtidos com base nas medições de campo.

#### 2.9.1.6. Simulação do tempo de corte

O corte básico para um sistema de rega por sulcos ocorre quando é interrompido o caudal fornecido ao sulco (NRCS, 2006). Ao contrário de outros métodos de rega como a gota-gota ou aspersão em que esta acção representa o fim da aplicação da água, na rega superficial tem uma fase contínua ou recessão, que pode, dependendo do tipo do sistema e sua configuração envolverem uma aplicação significativa de água. Assim, com duas opções que devem ser calibradas na planilha da *Figura 17*, o usuário pode escolher “cortar o abastecimento num momento específico” ou quando a extremidade a jusante do campo receber uma profundidade de água de aproximadamente igual à do déficit da zona da raiz como mostra a janela ao lado. Na *Figura 18* referente à simulação dos resultados, uma vez que os dados requeridos já foram inseridos, a simulação é executada por apenas um “click” num botão que de imediato é localizado na interface do *software* NRCS Surface. Assim, cada resultado de simulação produz uma estimativa de desempenho do método de rega em cinco indicadores nomeadamente: (1) Eficiência de aplicação; (2) Eficiência de uniformidade; (3) Eficiência de armazenamento; (4) Perdas por percolação profunda e; (5) Perdas por escoamento superficial visíveis na figura a seguir.



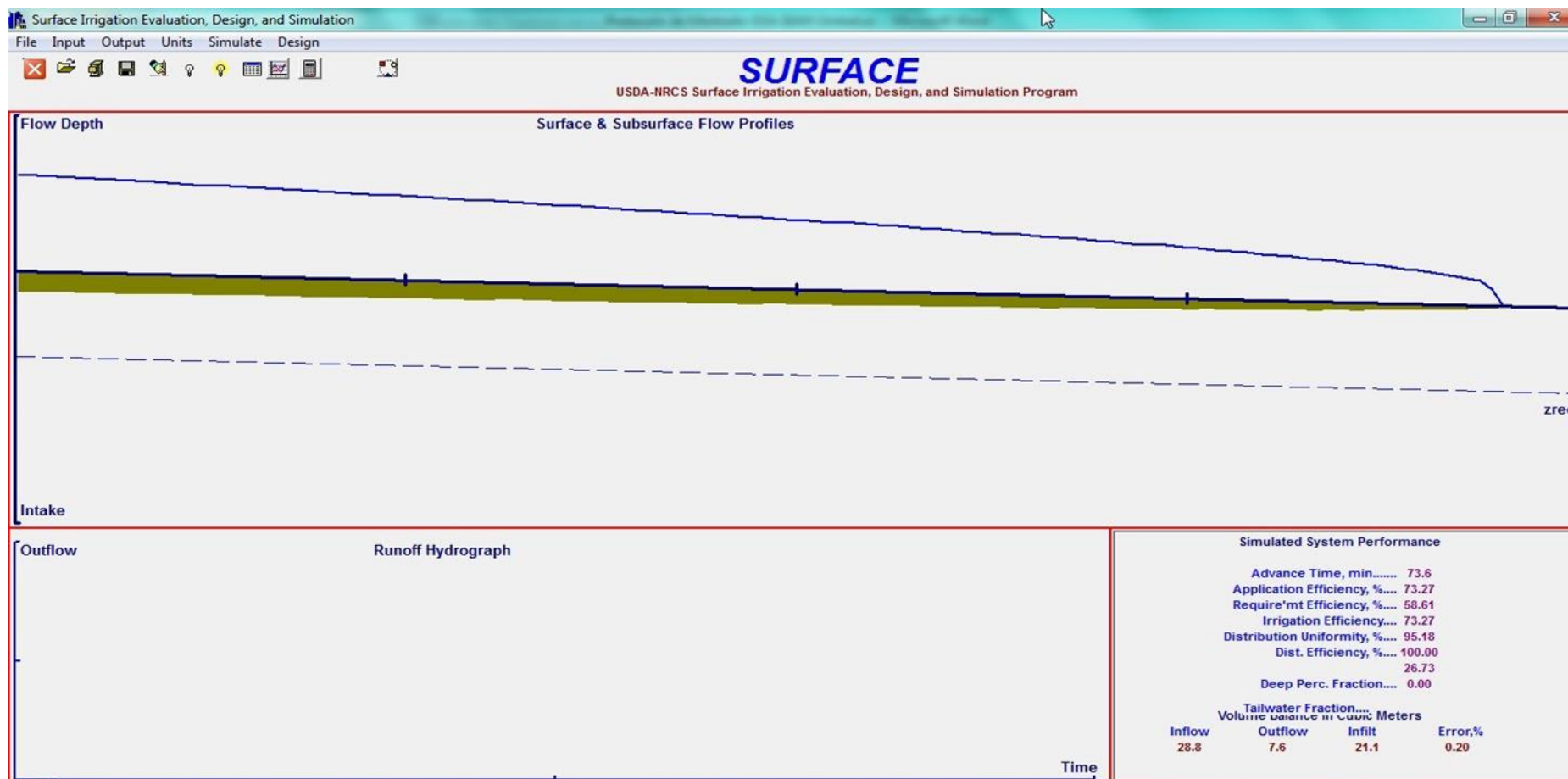
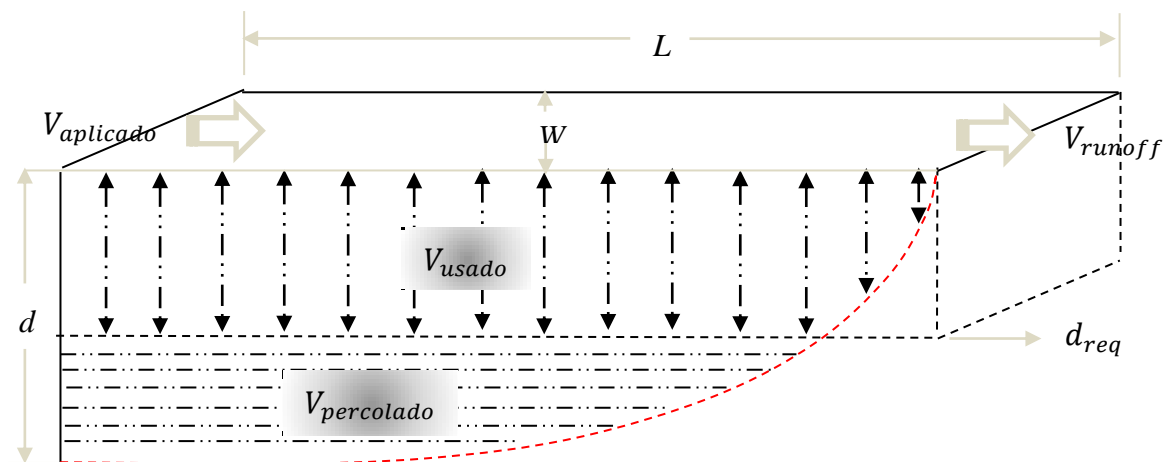


Figura 18: Simulação dos dados requeridos no *software* NRCS Surface e o respectivo resultado das eficiências



### 2.9.2. Eficiência de rega e uniformidade de distribuição

Um dos factores determinantes para as eficiências em campo é o mecanismo de aplicação de água no sulco. Nestes sistemas as perdas de água por escoamento superficial são provenientes da aplicação excessiva de água que resultam em perdas de nutrientes por lixiviação bem como na afloração do lençol freático para áreas a jusante da zona de rega (Bernardo, 2002). No que se referem às perdas em campo elas ocorrem no sulco que é o objecto de aplicação de água e de diferentes cultivares que resultam em perdas por escoamento superficial e perdas por percolação profunda. A *Figura 19* é uma demonstração de aplicação da água num sulco médio e as respectivas perdas.



**Figura 19:** Estrutura de um sulco ilustrando a aplicação da água e as respectivas perdas desse processo.

*Fonte:* Adaptado de Gonçalves (2006).

Nesta vertente, a eficácia da irrigação pode ser descrita pela sua eficiência e uniformidade de distribuição sendo que num sistema de irrigação aplica-se a água tendo em conta a evapotranspiração e as necessidades de lavagem (NRCS, 2006). O indicador mais importante de quão bem se pode regar servindo os seus propósitos é o rendimento das culturas, e para um campo com inclinação uniforme, o solo e a cultura recebem um fluxo constante na superfície sendo que uma frente de água avança a uma taxa monotonamente

decrecente até atingir o final do sulco. Assim, com a integração de vários parâmetros que caracterizam a distribuição de água aplicada na irrigação de superfície, são obtidas as relações para o cálculo das eficiências discutidas na metodologia e as respectivas definições são aqui apresentadas a seguir:

### 2.9.2.1. Eficiência de aplicação

É a razão entre o volume de água necessário à planta e o volume aplicado ao campo. Durante o processo de rega, principalmente a rega por gravidade ocorrem perdas por percolação profunda e perdas por escoamento superficial. Assim, para a determinação da eficiência de aplicação ( $e_a$ ) esses parâmetros devem ser avaliados. Segundo Walker (1989), a equação da eficiência de aplicação é a função da profundidade requerida ou déficit de humidade ( $Z_{req}$ ); o comprimento do sulco ( $L$ ) em metros; a largura ( $w$ ) em metros; o caudal ( $q$ ) em  $m^3/s/sulco$ ; e o tempo de corte ( $T_{Cor}$ ) em minutos. A relação usada por Walker para a determinação da ( $e_a$ ) é apresentada a seguir:

$$e_a = \left( \frac{Z_{req} * L * w}{q * 60 * T_{cor}} \right) * 100 \quad (2-1)$$

O tempo de corte em minutos integrado na equação (2-1) pode ser obtido através da seguinte relação:

$$T_{cor} = \left( \frac{L * w * q}{60 * q * e_a} \right) * 100 \quad (2-2)$$

Os parâmetros seguem a mesma descrição das relações anteriores

Segundo Roscher (1997), o déficit requerido ( $Z_{req}$ ) deve ser determinado com base no intervalo de rega aplicado ao sistema e a evapotranspiração de pico das culturas em campo. A relação que é usada segundo Roscher para a determinação do ( $Z_{req}$ ) é descrita da seguinte forma:

$$Z_{req} = I_{rega} * ET(\text{máx}) \quad (2-3)$$

Onde:

$I_{rega}$  é o intervalo de rega;

**ET (máx)** é a evapotranspiração máxima da cultura considerada.

Assim, é possível notar da *equação (2-4)* que esta não discrimina as perdas que ocorrem por escoamento superficial das que ocorrem por percolação profunda, ou seja, as perdas no extremo do sulco são expressas pela razão de escoamento superficial (RES) que é definida como sendo a razão entre o volume escoado e o aplicado ao sulco. A relação que é usada para determinar a o RES é descrita da seguinte forma:

$$RES = \frac{100 * V_{runoff}}{q * 60 * T_{cort}} \quad (2-4)$$

Onde:

**RES** é a razão de escoamento superficial [ $m^3$ ];

$V_{runoff}$  é o volume total escoado [ $m^3/s$ ];

$T_{cort}$  é o tempo de corte [ $min$ ].

Segundo Roscher (1997), o escoamento superficial impõe um tratamento adicional ao sistema de rega por gravidade. A erosão é de todos os outros o maior problema provocado pelo escoamento superficial, isto é, os sedimentos resultantes podem trazer dificuldades de transporte de água e obstruir as estruturas hidráulicas. Outro factor importante relacionado com a eficiência de aplicação é a perda. Assim, a perda de água para além da zona radicular, reflete-se na razão da percolação profunda (RPP), que pode ser definida como sendo a razão entre a água percolada e o volume aplicado ao campo. Neste contexto, é necessário inicialmente determinar a profundidade de aplicação. Assim, a equação descrita por Roscher para determinar a razão da percolação profunda é a seguinte:

$$RPP = \frac{V_{percolado}}{q * 60 * T_{cort}} \quad (2-5)$$

Onde:

**RPP** é a razão da percolação profunda [%];

$V_{percolado}$  é o volume percolado [ $m^3$ ];

$T_{corte}$  é o tempo de corte [ $min$ ].

Para Roscher, a eficiência de aplicação é a função do volume requerido sobre o necessário para a planta. Assim, a equação que representa essa descrição de acordo com Roscher (1997) é descrita da seguinte forma:

$$e_a = \frac{V_{rootzone_{req}}}{V_{field}} \quad (2-6)$$

Sendo:

$$V_{rootzone_{req}} = \left(\frac{1}{1000}\right) * d_{req} * w * L \quad (2-7)$$

Onde:

$V_{rootzone_{req}}$  é o volume requerido na zona da raiz [ $m^3$ ];

$W$  é a largura do sulco [ $m$ ];

$L$  é o comprimento do sulco [ $m$ ].

### 2.9.2.2. Eficiência de armazenamento

É a avaliação da quantidade de fornecimento de água na zona da raiz. A eficiência de armazenamento ( $e_s$ ) é um bom indicador para se saber até que ponto as necessidades de água para as plantas serão supridas. Este indicador é obtido pela razão entre a água fornecida ao solo e aquela necessária para zona radicular e, segundo Walker (1989) esta pode ser obtida pela seguinte equação:

$$e_s = \left(\frac{Z_{inf}}{Z_{req}}\right) * 100 \quad (2-8)$$

Onde:

$e_s$  é a eficiência de armazenamento [%];

$Z_{inf}$  é a altura média de água infiltrada [m];

$Z_{req}$  é a altura média de água requerida [m].

### 2.9.2.3. Eficiência de uniformidade (uniformidade de distribuição)

A eficiência de uniformidade pode ser definida como sendo a avaliação da distribuição na aplicação da água ao longo do sulco. Segundo Hall (1960), a uniformidade é a profundidade de água aplicada ao campo e pode ser obtida pela seguinte equação:

$$e_u = \left( \frac{1 - \sum[a - \bar{a}]}{n * \bar{a}} \right) * 100 \quad (2-9)$$

Onde:

$a$  é a profundidade aplicada no ponto observado [m]

$n$  é o número de observações

$\bar{a}$  é a profundidade média de água aplicada [m]

O cálculo da uniformidade de distribuição é de extrema importância no manejo do sistema de rega por gravidade pelo simples facto de que esta permite ter uma indicação do padrão com que o campo está a ser abastecido de água. Assim, uma rega não uniforme implica baixa eficiência de armazenamento oque conduz a sub-irrigação.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho baseou-se numa pesquisa experimental em que os dados foram colhidos com base nas medições de campo. Para este efeito, o trabalho foi realizado com base em dois modelos de estudo sendo primeiro o *Modelo Teórico* e o segundo o *Modelo Prático*. O modelo teórico compreendeu a análise de dados de precipitação, dados de solos da EAU e as respectivas práticas de rega sendo que os dados referentes a esta parte foram colectados através de Monografias de investigação no IIAM-EAU, Teses de estudos anteriores da Bacia do Umbeluzi e pela observação directa do local de estudo.

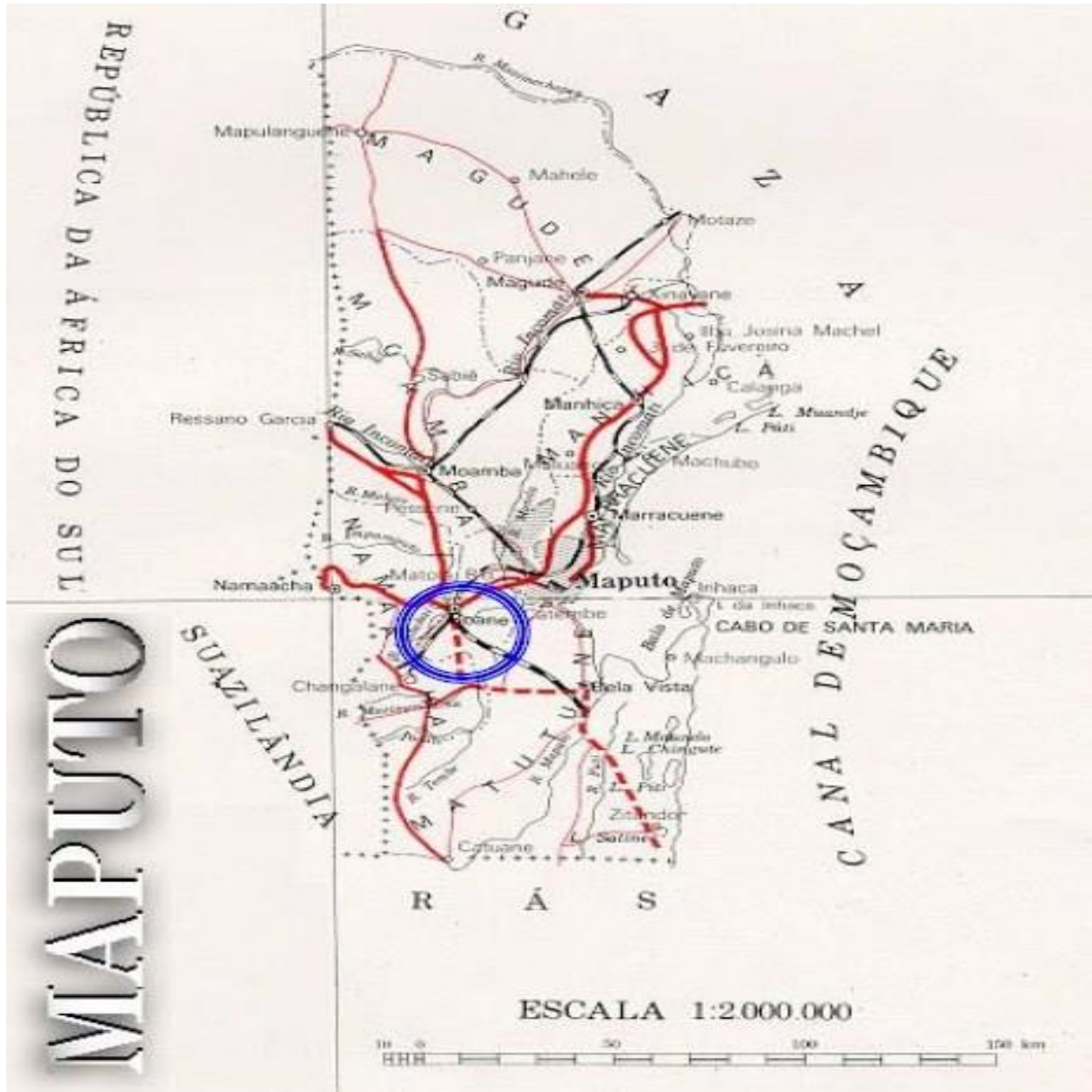
A segunda vertente baseou-se num modelo prático que compreendeu um ensaio de campo realizado no regadio onde foram feitas as seguintes medições:

- Caracterização física e geomorfológica do regadio;
- Topografia e determinação da geometria do campo;
- Testes de infiltração dos solos;
- Medição do caudal nos canais;
- Medição do tempo de avanço e recessão nos sulcos;
- Determinação da secção transversal dos sulcos e;
- Levantamento de amostras de solo.

#### **3.1. Local de estudo**

O presente estudo foi realizado no Distrito de Boane na EAU, que tem uma superfície de 815 km<sup>2</sup>, sendo este limitado a Norte pelo Distrito da Moamba, a Sul pelo Distrito da Namaacha e a Este Pela Cidade da Matola e o Distrito de Matutuíne.

A *Figura 20* é uma ilustração da localização do Distrito de Boane na província e os respectivos limites e, a *Figura 21* é uma ilustração do local das medições de campo na EAU, e estas são apresentadas à seguir respectivamente. Os dados populacionais do Distrito de Boane rondam em cerca de 81.406 habitantes, tendo este uma densidade populacional de 101 hab/km<sup>2</sup>.



**Figura 20:** Mapa referente à localização geográfica do Distrito de Boane e os seus respectivos.

*Fonte: PEDD Boane (2005)*



**Figura 21:** Campo de ensaios na Estação Agrária do Umbeluzi (demarcado em amarelo).

*Fonte: Google Earth.*



### **3.1.1. Análise da precipitação na Bacia Hidrográfica do Umbeluzi**

A EAU pertence à Bacia Hidrográfica do Umbeluzi (BHU). Os dados de precipitação analisados são pertencentes à rede pluviométrica e hidrométrica da bacia. O rio Umbeluzi que tem como fonte de captação da água para a EAU nasce na Suazilândia, drenando neste País uma área cerca de 3140 km<sup>2</sup>, a que corresponde a cerca de 60% da área total da bacia. Este rio atravessa a cadeia dos Libombos a sul da vila da Namaacha. Assim, a área total da bacia no território Moçambicano é de 2356 km<sup>2</sup>. Ao atravessar os pequenos Libombos este é represado para captação de água potável destinada à cidade de Maputo e para irrigação de mais de 12000 ha, dos quais 10500 ha a jusante por gravidade e 1500 ha a montante por bombagem (Locamurima, 2003).

Segundo a classificação de Köppen, o tipo de clima predominante na parte sul da bacia é BS (seco de estepe), mas na região de Goba é tropical chuvoso de savana (Aw) e na parte norte é seco de estepe com estação seca no inverno (BSw). Na zona ocidental o clima é temperado húmido sem estação seca (Consultec, 1992).

Neste contexto, a precipitação média mensal e anual é o objecto de análise para os postos pluviométricos P-924, P-1169, P-315, P-7 pertencentes BHU no período de 1950 a 2000 (Locamurima, 2003). Assim, uma análise mensal da bacia indica que os meses mais chuvosos são: Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Contudo, as precipitações no período húmido (Outubro a Março) variam entre 70 a 79 % da precipitação anual enquanto que no período seco (Abril a Setembro) oscilam no intervalo de 21 a 30 %.

### **3.1.2. Solos da EAU**

Segundo IIAM (1993) a EAU é basicamente constituída por depósitos aluvionares do Rio Umbeluzi, com uma coloração preta variando de preto-acastanhada. Os solos são de textura franca tendendo para franco-argiloso e/ou até mesmo franco arenoso em alguns lugares na estação. A posição do terreno em quase toda sua plenitude é plana. Neste contexto, os solos são classificados entre as seguintes classes: franca, franco-argiloso e franco-arenoso. Em relação ao lençol freático, a sua profundidade na Estação Agrária do Umbeluzi é bastante irregular, com uma variação de 10 cm a 180 cm e por vezes superiores a 180 cm. Assim, as análises laboratoriais apontam que as profundidades acima de dois metros representam um

perigo para o solo por causa da salinização. O valor do pH da água na estação oscila entre 6.4 e 7.1. Contudo, para a maioria das culturas praticadas, estes valores são indicadores de não existência da toxicidade para as plantas, não apresentando perigo para as mesmas. Assim, a água subterrânea da EAU tem um pH óptimo do ponto de vista agrícola.

O grau de salinidade da água é avaliado pela medição da sua condutividade eléctrica (CE). O grau da CE do lençol freático confere à água a qualidade de pouco salgada à moderada. Esta variabilidade, reflecte-se no grau de tolerância das culturas para a salinidade da água o que directamente influencia no seu rendimento (IIAM, 1993).

### **3.1.3. Mecanismos de captação, distribuição e aplicação da água na EAU.**

Os canais de rega na EAU são abastecidos por uma estação de bombagem principal com uma electrobomba com capacidade de 108 m<sup>3</sup>/h e por uma electrobomba secundária para situações de uma procura maior no regadio ambas que têm como fonte de captação o Rio Umbeluzi. A água é assim, conduzida e distribuída por um processo de condutas fechadas que seguem até a estrutura de distribuição da água. A partir desta são derivados para três canais principais (CPs) revestidos de betão ficando então os restantes canais terciários de terra que normalmente são abertos dependendo na necessidade.

A rega de cada parcela é feita através de canais temporários de terra que transportam água até os canais principais de cada parcela de irrigação (*ver Figura 22*). Outra forma de aplicação da água é através de sifões em locais onde o canal de distribuição se encontra num nível igual ou superior em relação ao campo de aplicação por causa da dificuldade desta se mover por gravidade. Basicamente nos campos localizados à direita da estrada no sentido Maputo-Boane, a água é distribuída e aplicada por gravidade em todos os campos.

Em relação à manutenção, todo o trabalho está a cargo dos regantes sendo que cada operador tem a obrigação de garantir a manutenção dos canais que distribuí água sobre a sua parcela e a gestão da água que se perde por runoff. De salientar que não existem canais ou valas de drenagem por se acreditar que toda água é aproveitada que se provou contraditório com o que foi constatado em campo.



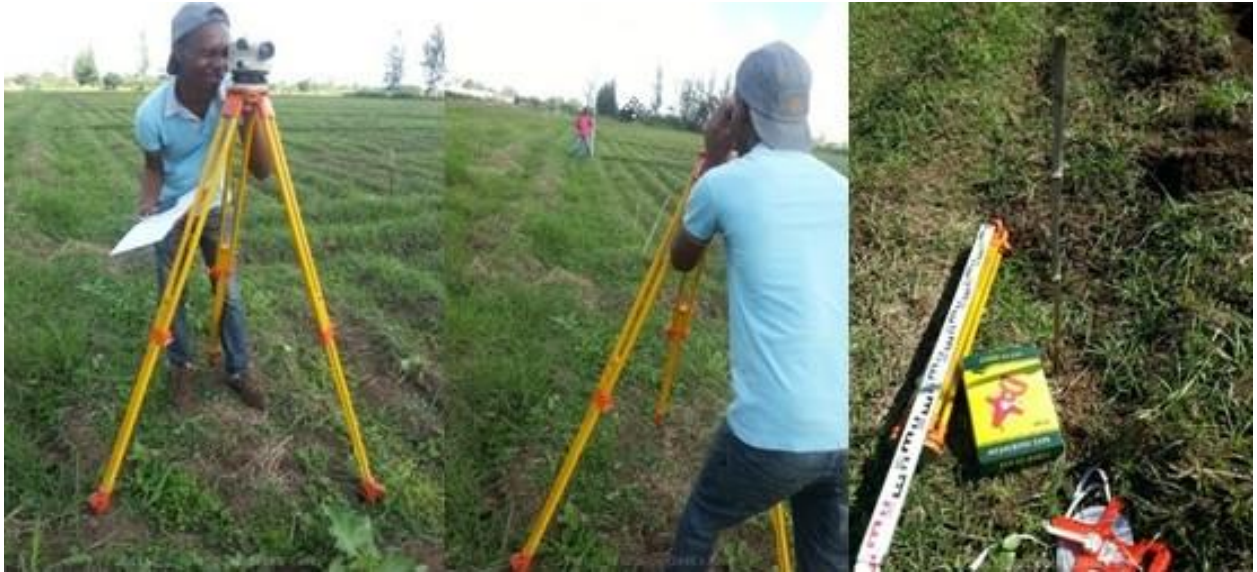
**Figura 22:** Aplicação da água a partir dos canais de distribuição de betão até o canal secundário para o campo em estudo.

### **3.2. Determinações de campo**

#### **3.2.1. Topografia**

O levantamento topográfico no regadio compreendeu duas etapas sendo a primeira a definição e marcação dos limites da parcela com fita métrica e a marcação dos pontos internos da superfície para determinação do declive médio do campo em que se idealizou uma escala em papel milimétrico, sendo definidas as distâncias entre os pontos para colocação das estacas na parcela. A segunda etapa foi o levantamento topográfico que contou com ajuda de um Nível e Tripé, uma Mira, um GPS e as respectivas cadernetas de campo onde foram feitas leituras de todos os pontos das estações e levantadas as suas respectivas coordenadas. Estes dados do nivelamento geométrico, com ajuda da folha de cálculo Excel, serviram para determinar a área da superfície, as cotas de terreno e os respectivos desníveis (*ver Anexo I-C*).

Contudo, tendo como base os pontos cotados do local de estudo apresentados no *Anexo I e alíneas*, foram determinados os declives do terreno, ou seja, o declive médio na orientação da largura do campo (135 metros) e o declive médio na orientação do comprimento do campo (180 metros). Assim, o tratamento desses dados pode ser visto no capítulo dos resultados e a ilustração deste procedimento das medições em campo é mostrada na *Figura 23*.



**Figura 23:** Levantamento topográfico da área parcelada na Estação Agrária do Umbeluzi.

### 3.2.2. Solos

Os locais para colheita de amostras de solo dentro do campo foram determinados aleatoriamente com base num caminhar em ziguezague. Para uma melhor representatividade da área em estudo que corresponde a 2.4 hectares foram colhidas amostras em sete pontos com uma profundidade de 40 cm. Em cada ponto de amostragem e com a ajuda de uma sonda e um balde foi misturado todo o solo resultando numa só amostra composta e retirada para dois sacos plásticos de 500 gramas e especificadas em cada amostra detalhes como a profundidade da amostragem, dia e hora da colheita, a cultura em campo, ocorrências ou não de pastagem e o historial de rega naquela parcela.

Assim, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório do IIAM e os resultados podem ser vistos na *Tabela 4*. Em relação à textura do solo, esta apresentou homogeneidade em todos os locais sondados com características de textura arenosa e/ou franco-arenoso. Contudo, a *Figura 24* é uma demonstração do processo que culminou com a amostra de solos no campo de ensaios na Estação Agrária do Umbeluzi.



**Figura 24:** Levantamento de amostras de solo na EAU.

### **3.2.3. Infiltração**

Para a determinação da capacidade de infiltração dos solos foi usado o método de duplo anel que contou com duas medições sendo que uma foi realizada em local não perturbado na extremidade do local em estudo, e a outra medição foi realizada dentro da parcela. Normalmente este processo de medição da infiltração deve levar no mínimo três medições para se determinar o valor médio da infiltração a partir dos resultados dessas medições.

Contudo, o processo de medição da infiltração dos solos foi operacionalizado quando a humidade do solo se encontrava na base seca. Foram registadas as descidas do nível da água no anel inferior em relação ao tempo (*ver Figura 25*).



**Figura 25:** Medição de campo da infiltração do solo na Estação Agrária do Umbeluzi.

Os dados obtidos desta medição foram introduzidos na folha de cálculo “Excel” para obtenção dos parâmetros  $K$  e  $n$  da equação de infiltração. Neste contexto, a representação matemática usada que melhor representa o cálculo da infiltração instantânea pelo método do duplo anel é a de Lewis Kostiaikov como mostra a relação seguinte:

$$I_{cum} = K * t^n \quad (3-1)$$

Onde:

$I_{cum}$  = Infiltração acumulada [mm/min];

$K$  = Constante que depende do tipo do solo e da humidade inicial;

$t$  = O tempo [min];

$n$  = É considerada constante positiva e menor que 1.

Assim, com os mesmos parâmetros descritos na relação anterior, a partir da equação da infiltração acumulada, pode-se obter o tempo de infiltração como é mostrado a seguir:

$$t = \left( \frac{I_{cum}}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3-2)$$

A infiltração cumulativa foi derivada para obtenção da infiltração instantânea em que a relação a seguir foi usada:

$$I_{inst} = K * n * t^{(n-1)} \quad (3-3)$$

Onde:

$I_{inst}$  = É a infiltração instantânea [cm/min];

Para estudos hidrológicos geralmente usa-se uma quantidade física que é obtida a partir da taxa de infiltração básica do solo partindo-se do princípio de que esta é atingida quando há mudanças na taxa de infiltração instantânea durante o período de uma hora for inferior a 10 % dada pela relação seguinte:

$$I_{bas} = K * n * [600 * (1 - n)]^{n-1} \quad (3-4)$$

Onde o  $I_{bas}$  é a infiltração básica [cm/min] e os restantes parâmetros seguem a descrição das relações acima apresentadas.

### 3.2.4. Determinação da secção transversal

Para a determinação da secção transversal, foi usado um perfilómetro composto por varetas graduadas instaladas aleatoriamente em diferentes pontos ao longo dos comprimentos dos sulcos medidos, que teve como finalidade o registo das profundidades e das larguras dos sulcos (ver *Figura 26*).



**Figura 26:** Determinação da secção transversal dos sulcos e do canal de cabeira na EAU.

Baseando-se nesta medição foram obtidos quatro parâmetros sendo eles a Largura superior; Largura média; Largura da base; e a Profundidade máxima. Com a introdução destes quatro parâmetros requeridos pelo *software* NRCS Surface são calculados automaticamente o *Rho 1* ( $\rho_1$ ); *Rho 2* ( $\rho_2$ ); *Sigma 1* ( $\sigma_1$ ); *Sigma 2* ( $\sigma_2$ ); *Cch* e *Cmh* na planilha referente a topografia e geometria do campo (ver *Figura 13*) através das seguintes relações:

$$WP = \gamma_1 y^{\gamma_2} \quad (3-5)$$

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad (3-6)$$

$$A^2 R^{\frac{2}{4}} = \rho_1 A^{\rho_2} \quad (3-8)$$

$$\rho_2 = \frac{10}{3} - \frac{4\gamma_2}{3\sigma_2} \quad (3-9)$$



$$\rho_1 = \frac{\sigma_1^{\frac{10}{3}-\rho_2}}{\gamma_1^{\frac{4}{3}}} \quad (3-10)$$

$$T = (Cch)y^{Cmh} \quad (3-11)$$

Assim, estas relações determinam os seguintes parâmetros: Fluxo transversal do perímetro molhado (*WP*) **Wetted Perimeter, m** ; área da secção transversal (*A*) **Area, m<sup>2</sup>** ; Profundidade do canal (*y*) **Depth, m** ; Raio hidráulico (*T*) e a largura superficial (*R e T*) **Top Width, m** .

### 3.2.5. Medição do fluxo nos canais e as fases de avanço e de recessão

O procedimento usado para a medição de fluxo nos canais de cabeceira e no sulco foi com base no Parshall Flume. Consistiu na montagem de 2 (dois) flumes sendo o primeiro na entrada do canal e o segundo no fim do canal para medição do fluxo de entrada e de saída para a determinação de volumes ( *ver Anexo 3-A e alíneas*). Para uma melhor representação dos dados este processo foi replicado, ou seja, foram medidos dois canais de cabeceira. Entretanto, no mesmo local onde se media o fluxo, foram colocadas estacas espaçadas em dez (10) metros uma da outra, onde se mediu a fase de avanço e de recessão desde o princípio até ao final do sulco (*ver Figura 27*).

Com base nessas medições de campo da fase de recessão e de avanço, a partir dos dados obtidos foram transformados em equações lineares para obtenção dos parâmetros da Fase de Recessão (*P. de recessão*) e em equações exponenciais para obtenção dos parâmetros da Fase de Avanço (*P. de avanço e r. de avanço*). Neste contexto, o tempo de aplicação a ser usado nesta tese para a determinação das eficiências, é também um parâmetro que se obtém através destas equações lineares da fase de recessão.

Em relação à determinação do caudal, este foi calculado com base nos parâmetros de calibração “**a e b**” para o Parshall Flume que apresentam os valores de 0.1508 e 1.7358 respectivamente, e com base no valor da crista ao nível do chão que é considerada como o nível zero do flume “**ho**” que teve como valor o 5.6. Com base nesses dados e a largura do

sulco que é de 0.7 metros, foi determinado em função do tempo de aplicação e das alturas registadas com base na folha de cálculo “Excel” o volume aplicado e o caudal (*ver Anexo 3 e alíneas*).



**Figura 27.** Determinação do caudal de entrada e de saída nos canais de cabeceira através do Parshal Flume.

### 3.2.6. Eficiências de rega

Para a determinação das eficiências nos canais, dois métodos de cálculo foram usados com base nas medições de campo como o levantamento topográfico, a determinação da infiltração dos solos, a medição de fluxo de entrada e de saída, a determinação das fases de avanço e recessão e a determinação da secção transversal dos canais de cabeceira. Contudo, o primeiro método foi o de adaptar o modelo às características do campo em estudo na folha de cálculo “Excel” e, integrar as relações representadas abaixo para sua posterior simulação como podem ser apresentadas a seguir:

$$\text{Volume aplicado: } V_{apli} = q * T_{corte} \quad (3-13)$$

$$\text{Volume necessário: } V_{nec} = L * W * D_{req} \quad (3-14)$$

$$\text{Volume infiltrado: } V_{inf} = \sum [I_{acum}] * W * L \quad (3-15)$$

$$\text{Volume real: } V_{real} = \sum [I_{real}] * W * L \quad (3-16)$$

$$\text{Volume percolado: } V_{perc} = \sum [I_{perc}] * W * L \quad (3-17)$$

$$\text{Volume runoff: } V_{runoff} = V_{aplic} - V_{infil} \quad (3-18)$$

Onde:

$q$  é o caudal aplicado [ $l/seg/sulco$ ];

$T$  é o tempo [ $min$ ];

$L$  é o comprimento do sulco [ $m$ ];

$W$  é a largura do sulco [ $m$ ];

$d$  é a dotação [ $mm$ ];

$I$  é infiltração [ $mm$ ].

Com a integração das relações para os cálculos de volumes foram calculados os valores referentes às eficiências da rega através das seguintes relações:

$$\text{Eficiência de aplicação: } E_a = \frac{V_{real}}{V_{aplic}} * 100 \dots \text{em } [\%] \quad (3-19)$$

$$\text{Eficiência de armazenamento: } E_{Stor} = \frac{V_{real}}{V_{necess}} * 100 \dots \text{em } [\%] \quad (3-20)$$

$$\text{Eficiência de percolação: } E_{Perc} = \left( \frac{V_{perc}}{V_{aplic}} \right) * 100 \dots \text{em } [\%] \quad (3-21)$$

$$\text{Eficiência runoff: } E_{runoff} = \frac{V_{runoff}}{V_{Aplc}} * 100 \dots \text{em } [\%] \quad (3-22)$$

O segundo método para o cálculo de eficiências de rega teve como base o *software* NRCS Surface que é uma das ferramentas do presente estudo para modelação e quando comparado com o outro método descrito anteriormente, este avalia com acréscimo de alguns os mesmos parâmetros, mas com exigência de mais pormenores para a avaliação do desempenho de rega por superfície como pode ser visto a seguir:

- a) **Controlos de entrada** (*unidade de simulação do fluxo de entrada, tempo de corte, fluxo contínuo, fluxo contínuo com redução*);
  - b) **Sistema do campo** (*sulco ou bacias de inundação*);
  - c) **Comprimento e Geometria do campo** (*comprimento e largura do campo, inclinação transversal do campo ou declive*);
  - d) **Características de infiltração**;
  - e) **Secção transversal do sulco** (*largura do topo, largura média, largura da base e profundidade máxima do sulco*).
- Características de drenagem** (*drenagem livre ou bloqueada*).

Tendo em vista esta análise são apresentadas á seguir as definições e as respectivas relações para a determinação das eficiências de rega com base neste modelo de simulação (NRCS, 2006):

- $V_{in}$  é o volume de água aplicada ao campo [ $m^3$ ];
- $V_{RZ}$  é o volume de água necessário para substituir o défice da humidade do solo [ $m^3$ ];
- $V_{rz}$  é o volume da água de rega que é realmente armazenado na zona de raiz [ $m^3$ ];
- $V_{di}$  é o volume de água que representa a sub-irrigação [ $m^3$ ];
- $V_{dp}$  é o volume de água que se infiltra abaixo de zona da raiz [ $m^3$ ];
- $V_{tw}$  é o volume de água que se escapa no final do sulco;
- $V_L$  é o volume de água necessária para lavagem [ $m^3$ ];
- $V_{lq}$  é o volume de água infiltrado no mínimo em 25 % da área [ $m^3$ ];

$$\text{Eficiência de irrigação: } E_i = \frac{V_{rz} + V_L}{V_{in}} = \frac{V_{rz} + V_L}{V_{rz} + V_{dp} + V_{tw}} \quad (3-23)$$

$$\text{Eficiência de aplicação: } E_a = \frac{V_{rz}}{V_{in}} = \frac{V_{rz} + V_L}{V_{rz} + V_{dp} + V_{tw}} \quad (3-24)$$

$$\text{Eficiência de armazenamento: } E_r = \frac{V_{rz}}{V_{RZ}} = \frac{V_{rz}}{Z_{req} * W * L} \quad (3-25)$$

$$\text{Uniformidade de distribuição: } DU = \frac{4 * V_{lq}}{V_{rz} + V_{dp}} \quad (3-26)$$

$$\text{Percolação profunda: } VDP = \frac{V_{dp}}{V_{in}} = \frac{V_{dp}}{V_{rz} + V_{dp} + V_{tw}} \quad (3-27)$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Topografia

Com base nas análises dos dados do levantamento topográfico, o local de estudo tem uma área de 2.4 hectares (24389 m<sup>2</sup>) com um comprimento de 180 metros e uma largura de 135 metros (*ver Anexo 1 e alíneas*). Em relação à determinação do declive do campo, os valores foram determinados com base nas variações entre pontos cotados através da seguinte equação:

$$d_r = \frac{Cota_{E_2} - Cota_{E_1}}{Distância_{E_1 \text{ para } E_2}} \quad (4-1)$$

Onde:

$d_r$  é o declive da distância  $r$  que une as cotas entre as curvas de nível  $E_1$  a  $E_2$

Este processo foi repetitivo entre as restantes cotas de terreno de acordo com a sua localização, ou seja, os desníveis foram medidos em cotas alinhadas horizontalmente entre as linhas do comprimento do campo e entre as linhas da largura do mesmo sendo que o resultado desse procedimento pode ser visto na tabela seguinte:

**Tabela 4:** Resultado para o declive do campo

Na orientação do <i>W</i> do campo (135 metros)		Na orientação do <i>L</i> do campo (180 metros)	
Cotas	Declive entre cotas (%)	Cotas	Declive entre cotas (%)
E <sub>1</sub> a E <sub>2</sub>	0.28	E <sub>1</sub> a E <sub>4</sub>	0.05
10 a 3	0.25	1 a 7	0.09
9 a 4	0.31	2 a 6	0.15
8 a 5	0.57	E <sub>2</sub> a E <sub>3</sub>	0.07
E <sub>4</sub> a E <sub>3</sub>	0.35	-	-
Decl. Médio	0.3	Decl. Médio	0.1

Assim, como pode ser observado na *Tabela 4*, o campo apresenta em relação ao comprimento que é de 180 metros, um declive médio de 0.1 %, e em relação à largura que é de 135 metros, um declive médio de 0.3 %. Neste contexto, com base na *Tabela 10*, de *Wageningen* citado por Brito (2012) relativamente à aplicabilidade de um determinado declive para rega por sulcos, verifica-se que não existe susceptibilidade de erosão hídrica por declive acentuado, cabendo então aos regantes ajustar a este declive um caudal e um comprimento óptimo para os sulcos.

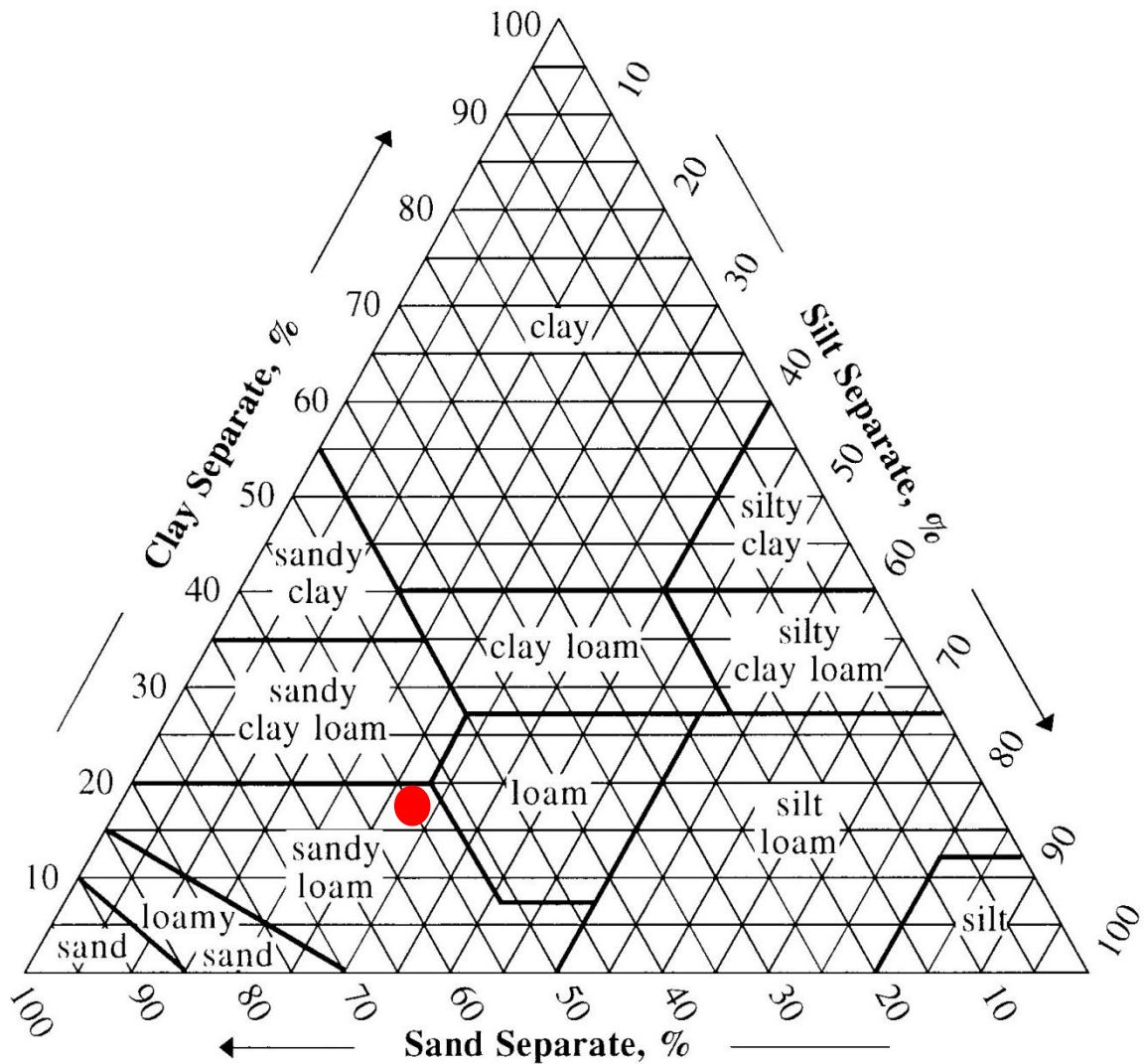
#### 4.2. Solos

A determinação foi feita no laboratório do IIAM em Maputo, em que foram encaminhadas três amostras que tiveram como profundidade 40 cm. Assim, na *Tabela 5* são apresentados os resultados de cada medição e as respectivas médias:

**Tabela 5.** Resultados de análise de solos (Laboratório do IIAM-Umbeluzi, 2013).

Nº da amostra (cm)	i (0-40 cm)	ii (0-40 cm)	ii (0-40 cm)	Média
Areia (%)	58.9	47.3	52.1	52.8
Limo (%)	24.8	32.2	27.9	28.3
Argila (%)	16.3	20.5	20	19
pH da água	7.1	7.46	7.4	7.32
pH-KCL	6.15	6.28	6.06	6.16
CE(01:02.5)	0.65	0.65	0.6	0.63
CTC (meq/100g)	13.16	17.04	15.83	15.34
	Bases de troca (meq/100g)			
Ca	7.81	9.42	8.68	8.64
Mg	3.91	5.22	4.93	4.69
K	0.94	1.74	1.6	1.43
Na	0.5	0.66	0.62	0.59
Soma de bases	13.16	17.04	15.83	15.34

Assim, com base nos valores médios de areia, limo e argila (ver Tabela 5), depois de comparados com o diagrama triangular que é utilizado para a classificação da classe textural do solo (Barros, 2012) apresentado na Figura 28, foi possível obter a classe textural para estes solos, caindo então na classe de franco-arenoso (sandy loam) como mostra o cruzamento do ponto em vermelho no diagrama.



**Figura 28:** Diagrama triangular utilizado para a classificação textural do solo.

*Fonte:* Citado por Barros (2012). Notas das aulas de Planeamento do Uso de Terra e Água



**Tabela 6.** Implicações práticas do teor capacidade de troca catiônica

<b>IMPLICAÇÕES PRÁTICAS DA CTC DO SOLO</b>	
<b>Solos que precisam de correção:</b>	<b>Solos ótimos:</b>
<b>CTC de 1 a 5 (meq/100g)</b>	<b>CTC de 6 a 25 (meq/100g)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possuem alta percentagem de areia e baixo teor de M.O;</li> <li>- O nitrogénio e potássio lixiviam com maior intensidade;</li> <li>- Para aumentar o pH é necessário ter menor percentagem de calcário;</li> <li>- Possuem menor capacidade de retenção da umidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta percentagem de argila e/ou teores concentrados de M.O;</li> <li>- Para aumentar o pH é necessário alto teor de calcário;</li> <li>- Possuem alta capacidade de retenção de nutrientes;</li> <li>- Possuem alta capacidade de retenção de umidade</li> </ul>

*Fonte: Lopez A. S. et al. (2003)*

Segundo Lopez A. S. *et al.* (2003), a CTC é um parâmetro físico-químico fundamental para o manejo adequado da fertilidade do solo. Assim, da *Tabela 5* é possível observar que o valor médio da CTC das três amostras é de 15.34 meq/100g e que quando comparado com os valores da *Tabela 6* sobre as implicações práticas do teor da CTC para um determinado solo, esta se encontra dentro da classe da CTC óptimo. Em relação à média do pH da água que é de 7.32, segundo Brito (2012) este pode ser comparado com uma escala de pH normal que é de 6.5 a 8.4 que faz parte de uma norma para interpretar a qualidade da água. Contudo, o valor médio de pH resultante das amostras do local se situa dentro do intervalo recomendado.

#### **4.3. Determinação da taxa de infiltração dos solos**

No que tange às medições de infiltração dos solos, foram feitas duas medições de campo e os dados obtidos foram transformados nos parâmetros *k* e *n* para a sua representação na equação de infiltração básica pelo método de Lewis Kostiaikov. Analisando os valores da taxa de infiltração observados, verificou-se uma diminuição da velocidade de infiltração nas duas

medições (ver Anexo 2 e alíneas), isto é, a taxa de entrada de água no solo decresceu com o tempo em função do humedecimento do perfil onde o solo assumia um valor quase constante. O resultado dessas medições pode ser vista na *Tabela 7*.

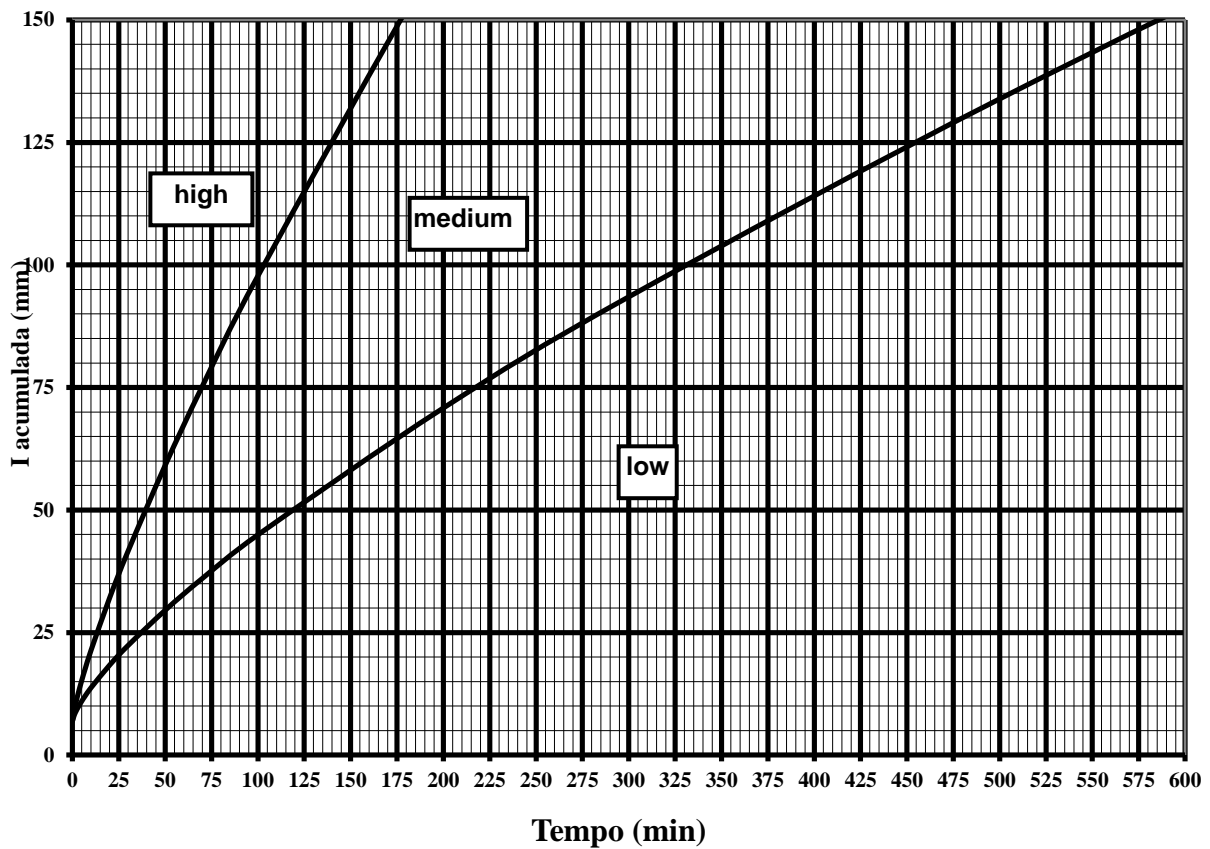
**Tabela 7.** Resultado da infiltração básica

Pontos de medição	$k$	$n$	$I_{bas}$ [mm/min]
1 <sup>a</sup>	24.66	0.244	0.059
2 <sup>a</sup>	20.56	0.462	0.423

Os resultados das medições da taxa de infiltração apresentam uma diferença muito grande. Segundo Brito (2012), normalmente este processo de medição deve levar no mínimo três medições para se determinar o valor médio da infiltração básica. Assim, para a determinação das eficiências de rega foi assumido o valor da infiltração básica ( $I_{bas}$ ) da segunda medição (ver *Tabela 7*) por que esta ao contrário da primeira foi efectuada dentro do campo onde foi medido o tempo de avanço e de recessão. Contudo, com base neste valor de infiltração básica e os valores do tempo de recessão e avanço foram assim usados para a determinação das dotações médias, pelo que ambos os parâmetros foram determinados dentro do campo onde foram construídos os sulcos, diferente da primeira medição da taxa de infiltração do solo. Neste contexto, a partir dos resultados dessas medições a taxa de infiltração de um solo pode ser classificada com base nos valores da grandeza de dotação e o tempo necessário para infiltrar essa grandeza, onde o tempo necessário pode ser obtido através da *Equação (1-2)*. Os valores obtidos são então classificados com base em famílias de infiltração como pode ser vista na *Figura 29*.

Assim, na *Tabela 8*, são apresentadas as famílias de infiltração para cada sulco medido classificadas com base na grandeza de dotação e no tempo de aplicação. Os valores da grandeza de dotação e o tempo de aplicação foram interceptados na *Figura 39* no intervalo das curvas que separam as diferentes classes de infiltração. Os Tempos de infiltração para cada dotação apresentados na *Tabela 8* foram determinados com base na *equação (3-2)*.

## Famílias de Infiltração



**Figura 29:** Famílias de infiltração medidas com base na dotação média e no tempo de aplicação.

*Fonte: Notas da aula de Projectos de irrigação (Brito, 2012).*

**Tabela 8:** Classificação das famílias de infiltração dos sulcos medidos.

Sulcos medidos	Dotação média (mm)	Tempo de infiltração (min)	Famílias de infiltração
1º Sulco	96	28	Alta
2º Sulco	94	27	Alta

Da *Tabela 8* constata-se que são solos com uma capacidade de infiltração alta. Este factor deve-se ao facto de estes solos apesar de os resultados laboratoriais apresentarem-se como franco-argilosos descrito por Vilanculos & Semo (1993), estes são dotados de uma estrutura média, características estas favoráveis à infiltração. Assim, conhecer a taxa de infiltração de um solo é de grande importância por ser uma das características mais sensíveis para se detectar alterações no sistema de cultivo e manejo do solo. Contudo, o processo de irrigação e o respectivo intervalo de rega podem contribuir na acumulação de material vegetal e orgânico e o acréscimo de argila na superfície do solo o que fará com que em cada etapa de rega os solos venham a tomar padrões mais reduzidos em relação à taxa de infiltração anterior.

#### **4.4. Caudal, tempo de avanço, de recessão e a dotação média do sulco**

O processo de medição do fluxo nos sulcos foi feito com base no Parshal flume como foi descrito no capítulo das metodologias, sendo que no total foram medidos dois sulcos com comprimentos de 120 metros cada. Assim, para este procedimento foram registadas as alturas da água no flume em função do tempo num intervalo de cinco (5) segundos. Neste contexto, no presente trabalho são apresentadas as folhas de cálculo que foram usadas para esse procedimento (*ver Anexo 3 e alíneas*) e os resultados obtidos são apresentados em tabela (*ver Tabela 9*).

Em relação às dotações médias apresentadas na *Tabela 9*, foram calculadas com base nos dados do tempo de avanço e de recessão e determinado o tempo de oportunidade para cada um dos doze (12) pontos de avanço e de recessão. O volume infiltrado ou a grandeza de dotação foi assim determinado com base nesses tempos de oportunidade e os valores dos parâmetros  $k$  e  $n$  da equação da infiltração acumulada (*Equação 3-1*) resultante da segunda medição.

No que tange as fases de avanço e as fases de recessão, com base nos dados das medições de campo foram obtidas equações lineares para obtenção dos parâmetros da Fase de Recessão (*P. de recessão*) e o tempo de aplicação e, em equações exponenciais para obtenção dos parâmetros da Fase de Avanço (*P. de avanço* e *r. de recessão*) na folha de cálculo “Excel” como é demonstrado a seguir:

**A. Equações da fase de recessão e de avanço da primeira medição**

Equação da fase de recessão:  $y = 0.1889x + 39$  (4-2)

Onde:

$P. de rec. = 0.1889$

$T. aplic. = 39 \dots\dots\dots [min]$

Equação da fase de avanço:  $y = 0.4779x^{0.8627}$  (4-3)

Onde:

$P. de avan. = 0.4779$

$r. de avan. = 0.8627$

**B. Equações da fase de recessão e de avanço da segunda medição**

Equação da fase de recessão:  $y = 0.1933x + 43$  (4-4)

Onde:

$P. de rec. = 0.1933$

$T. aplic. = 43 \dots\dots\dots [min]$

Equação da fase de avanço:  $y = 0.469x^{0.861}$  (4-3)

Onde:

$P. de avan. = 0.469$

$r. de avan. = 0.861$

**Tabela 9:** Resumo dos resultados referentes à medição do fluxo de entrada e de saída da água nos sulcos.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unid</b>	<b>1º sulco</b>	<b>2º sulco</b>
Volume de entrada	litros	10 658.48	7 955.38
Volume de saída	litros	920.59	516.33
Caudal	l/s	6.33	5.23
Tempo de corte	min	39	43
Dotação média	mm	96	95

Contudo, o caudal a ser introduzido num sulco deve levar em consideração alguns parâmetros cujo objectivo é de evitar a erosão dos solos e o transborde da água. Assim, é possível confrontar os resultados obtidos nas medições de campo referentes ao caudal óptimo para um determinado declive do campo através da tabela seguinte:

**Tabela 10:** Tabela de Wageningen. Relação do caudal máximo não erosivo em função do declive do campo

<b>Furrow slope (%)</b>	<b>Maximum flow rate (l/s)</b>	<b>Comments</b>
0.1	6.0	The flow rate indicated is about double the carrying capacity of most furrows in normal use on a 0.1 % slope. Erosion is negligible with furrows flowing to capacity on this slope.
0.3	2.0	A slope of 0.3 % is near the upper limit where furrows flowing at capacity will not cause serious erosion.
0.5	1.2	Cultivated furrows with 0.5 percent slope will erode unless the flow rate is considerably less than furrows capacity.

2.0

0.3

This indicates the reduction in flow rate needed to prevent serious erosion on a 2% slope. This is considered to be the maximum slope allowable for cultivated furrows.

*Fonte:* Citado por Brito (2012). (Notas das aulas de projectos de irrigação de Wageningen).

Da *Tabela 9* constata-se que foram obtidos caudais nos sulcos com os valores de 6.33 l/s e 5.23 l/s para a primeira e segunda medição respectivamente, sendo que esses são elevados para o declive recomendado que é de 0.1 % como pode ser visto na primeira coluna da *Tabela 10*, uma vez que o declive do campo em estudo é de 0.3% que tem como recomendação um caudal na ordem de 2.0 l/s podendo então provocar problemas de erosão e de transborde da água no sulco. Portanto, existem determinadas classificações que podem ser usadas para adequar os diferentes parâmetros do método de rega por sulcos. Segundo Brito (2012), a classificação de Melvyn Key é um método que sugere diferentes comprimentos de sulcos para um determinado caudal e o seu respectivo declive como pode ser visto na tabela seguinte.

**Tabela 11:** Tabela de Melvyn Key. Sugestão de comprimento dos sulcos

SLOPE (%)	MAXIMUM FLOW (l/s)	CLAY		LOAM			SAND		
		75	150	50	100	150	50	75	100
0.05	3.0	300	400	120	270	400	60	90	150
0.1	3.0	340	440	180	340	440	90	120	190
0.2	2.5	370	470	220	370	470	120	190	250
0.3	2.0	400	500	280	400	500	150	220	280
0.5	1.2	400	500	280	370	470	120	190	250
1.0	0.6	280	400	250	300	370	90	150	220
1.5	0.5	250	340	220	280	340	80	120	190
2.0	0.3	220	270	180	250	300	60	90	150

*Fonte:* Citado por Brito (2012). Notas das aulas de projectos de irrigação; (Adaptado de Melvyn Key).

Assim, constata-se também a partir desta da *Tabela 10*, à semelhança com a de Wageningen (*ver Tabela 10*), que para um declive de 0.3 % o caudal máximo deve ser de 2 l/s. sendo que essas indicações mencionadas na tabela de Malvyn Key são ajustadas para um determinado comprimento óptimo dos sulcos e o seu respectivo tipo de solo.

#### **4.5. Eficiências de rega**

O presente trabalho teve como objetivo, o de avaliar o desempenho de rega por sulcos. O desempenho de rega é avaliado com base nas eficiências de rega. Assim, foram feitas medições de campo que tiveram como resultado a obtenção das variáveis que foram usadas na modelação para a determinação das eficiências de rega. Para cada uma das medições de campo nos sulcos, com base nos resultados obtidos foram simuladas as eficiências nos dois (2) *software* usados totalizando em quatro (4) grupos de eficiências e simulados os resultados baseando-se no mesmo caudal com variação do comprimento do sulco e tempo de aplicação resultando também em quatro (4) grupos de eficiências optimizadas, ainda que para o *software* NRCS Surface a partir da variação do caudal, do comprimento do sulco, do tempo de aplicação foi possível optimizar outro grupo de eficiências. Neste contexto, são apresentados em resumo *a seguir* o resultado dos cálculos feitos com base nos dados das medições de campo.

#### **1) RESUMO DOS DADOS CALCULADOS COM BASE NAS MEDIÇÕES DE CAMPO.**

##### **i. Levantamento topográfico**

$L$  do campo = 180 m;  $W$  do campo = 135 m; Área do campo (180\*135) = 2.4 ha

##### **ii. Determinação do declive médio do campo**

Em relação ao comprimento do campo = 0.1

Em relação à largura do campo = 0.3



**iii. Determinação da taxa de infiltração dos solos**

$$I_{cum} = 20.556 * t^{0.4617} \quad \text{Parâmetros (k = 20.556; n = 0.4617)}$$

**iv. Determinação da secção transversal média dos sulcos**

Largura máxima dos sulcos = 0.75 m

Largura média dos sulcos = 0.45 m

Largura da base dos sulcos = 0.250 m

Altura máxima dos sulcos = 0.350 m

**v. Determinação da equação do (P. de avan) e de (P. de reç.)**

**SULCO Nº 1**

P. de Avanç. 1 = 0.4779

r. de Avanç. 1 = 0.8626

P. de Reç. = 0.1889

**SULCO Nº 2**

P. de Avan. = 0.469

r. de Avanç. = 0.861

P. de Reç. 2 = 0.1933;

**vi. Determinação da grandeza de dotação com base na equaç. De inf. Acum.**

**SULCO Nº 1**

96 mm

**SULCO Nº 2**

95 mm

**vii. Medição de fluxo pelo método de parshall flume**

**SULCO Nº 1**

Comprimento = 120 m

Largura = 0.7 m

Volume inflow = 10.658.5

Volume outflow = 920.6

Caudal = 6.33 l/s

Tempo de aplicação 39 min

**SULCO Nº 2**

Comprimento = 120 m

Largura = 0.7 m

Volume inflow = 7955.4;

Volume outflow = 516.3

Caudal = 5.23 l/s

Tempo de aplicação 43 min

Como foi descrito anteriormente, o tempo de avanço e de recessão foi medido em campo para cada sulco em doze (12) pontos num comprimento total dos sulcos que é de 120 metros. Assim, com base nos dados do tempo de avanço e de recessão foi determinado o tempo de oportunidade para cada um dos doze pontos. O volume infiltrado ou a grandeza de dotação foi assim determinado com base nesse tempo de oportunidade e os valores dos parâmetros  $k$  e  $n$  da equação da infiltração acumulada resultante da segunda medição. Este método de cálculo é apresentado no presente trabalho (ver Anexo 3-D e 3-I). O método usado para a determinação das eficiências de rega foi à modelação. Para este procedimento foram simuladas eficiências com base em dois *softwares*. Contudo, dependendo dos resultados a serem obtidos, estes podem ser simulados através da modelação com o objectivo de obter grupos de eficiências aceitáveis para rega por sulcos.

#### **4.5.1. Softwares para determinação das eficiências de rega**

Com base nos *softwares*, para os *inputs* apresentados em resumo, dados estes determinados com base nas medições de campo foram determinadas as eficiências de aplicação; eficiências de armazenamento; eficiências de uniformidade; eficiências de percolação profunda e eficiências de escoamento superficial. É importante referir que o primeiro *software* usado é uma simulação NRCS que foi adaptado para as características do campo de ensaios na EAU em que a folha de cálculo usada para determina-las e as suas optimizações são apresentadas neste trabalho (ver Anexo 4-A e alíneas). Assim, uma contatação a ser evidenciada em relação a eficiência de percolação profunda e de escoamento superficial no primeiro *software* é de que ele avalia estas duas de forma que quanto mais inferiores forem os seus valores apresentados em percentagem, melhor são as suas eficiências.

O segundo *software* usado para a determinação das eficiências foi o NRCS Surface e as folhas de cálculo usadas para determinar as eficiências e as suas optimizações são apresentadas neste trabalho (ver Anexo 5-A e alíneas). Este software, diferente do primeiro apresenta maior exigência em termos de dados requeridos e estes são apresentados a seguir:

##### **– Geometria e topografia do campo**

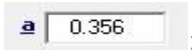


- Declive = 0.3/1000 (0.3 por mil = 0.0003);


– **Sessão transversal dos sulcos**

- Largura máxima dos sulcos = 0.75 m;
- Largura média dos sulcos = 0.45 m;
- Largura da base dos sulcos = 0.25 m;
- Altura máxima dos sulcos = 0.35 m;

– **Factor Manning n**

- (valor assumido) = 12.5 ( $1/12.5 = 0.08$ ).

Em relação aos ajustes, na planilha de características de infiltração “*Infiltration Characteristics*” são ajustados manualmente os parâmetros ;  e  referentes aos parâmetros *k* e *n* da equação de infiltração acumulada para se obter o tempo necessário para infiltrar as dotações médias, e o resultado do ajuste desses parâmetros mencionados é obtido através da seguinte

janela: . Contudo, para se proceder este ajuste, o “tempo necessário” foi determinado manualmente com base na equação de infiltração acumulada [ $I_{cum} = K * t^n$ ] e o valor obtido deve então ser o mesmo a ser encontrado nesse ajustamento, marcado em vermelho na janela anterior. O valor de Manning é um dos *inputs* requerido pelo *software* e foi assumido o 0.08. Segundo NRCS (2006), o valor de Manning para sulcos já irrigados ronda em torno de 0.02 e 0.04. Apesar do valor 0.08 estar fora deste intervalo, foi assumido porque este depende também da agregação do solo que também depende da recente ou não construção dos sulcos, pelo que os sulcos eram recentes e nunca tinham sido irrigados. O resultado das eficiências simuladas com base neste procedimento de modelação a partir dos dados das medições de campo para cada sulco pode ser vista na *Tabela 12*.

Para este efeito, são apresentadas as eficiências de rega a seguir e a sua respectiva discussão.

**Tabela 12:** Eficiências de rega obtidas com base na modelação para os dois *softwares*

Eficiências de irrigação	Unid	1º Software		2º Software	
		Sulcos		Sulcos	
		1º	2º	1º	2º
Comprimento do sulco	m	120	120	120	120
Tempo de aplicação	min	39	43	39	43
Eficiência de aplicação	%	54	59	62	67
Eficiência de armazenamento	%	100	100	100	99
Eficiência de uniformidade	%	94	92	69	74
Eficiência percolação profunda	%	34	31	93	85
Eficiência de escoamento superficial	%	10	10	82	71

Assim, a optimização das eficiências para os dois (2) *softwares* de simulação foi feita com base na variação dos *inputs* como o comprimento dos sulcos, o tempo de aplicação e o caudal aplicado sendo que este último so o segundo *software* (NRCS Surface) como característica é que permite optimizar com base na variação do caudal.

**Tabela13:** Eficiências de rega optimizadas obtidas com base na modelação para os dois *softwares*

Eficiências de irrigação	Unid	1º Software		2º Software	
		Sulcos		Sulcos	
		1º	2º	1º	2º
Comprimento do sulco	m	115	100	100	100
Tempo de aplicação	min	33	34	30	36
Eficiência de aplicação	%	62	62	66	66
Eficiência de armazenamento	%	100	100	100	100
Eficiência de uniformidade	%	94	94	93	91
Eficiência percolação profunda	%	38	33	72	74
Eficiência de escoamento superficial	%	02	4	82	79

Em relação ao segundo *software* por ele apresentar opções em relacionadas com a calibração de parâmetros, são apresentados na tabela à seguir as eficiências de rega determinadas com base na redução do caudal para 3 l/s/sulco e ainda uma redução do comprimento do sulco e do tempo de aplicação.

**Tabela 14:** Eficiências de rega optimizadas com base na modelação para os dois *softwares*

OPTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA COM BASE NO NRCS		
Comprimento do sulco	metros	70
Caudal	l/s/sulco	3
Tempo de aplicação	min	40
Declive	%	0.3
Eficiência de aplicação	%	68
Eficiência armazenamento	%	100
Eficiência de uniformidade	%	90
Eficiência de percolação	%	75
Eficiência de escoamento superficial	%	76

Para este efeito, os resultados apresentados foram determinados com base na modelação e são referentes à eficiência de aplicação; eficiência de armazenamento; eficiência de uniformidade; eficiência de percolação e a eficiência de escoamento superficial. De acordo com Brito (2012), a rega por sulcos obedece a um padrão de classes de eficiências que lhes conferem a uma determinada classe. Com base nos resultados apresentados na *Tabela 12* referentes apenas a simulação das eficiências determinadas com base nos dados levantados em campo, quando comparados com os intervalos ótimos da *Tabela 15* referente as classes aceitáveis de eficiências para rega por sulcos é possível atribuir aos valores das encontradas as suas respectivas classes como pode ser visto a seguir:

**Tabela 15:** Classes aceitáveis de eficiências para rega por sulcos

CLASSES DE EFICIÊNCIAS			
Eficiências	Mau	Satisfatório	Bom
Ef. de aplicação	<60 %	60-70 %	>75 %
Uniformidade de distribuição	<80 %	80-90 %	>90 %

**Fonte:** Citado por Brito (2012). *Notas das aulas de projectos de irrigação; (Adaptado de Melvyn Key)*

Neste contexto, a avaliação de um sistema de rega é feita com base na avaliação do seu desempenho. Contudo, o desempenho de rega é avaliado com base na análise da eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição, ainda que devam ser analisadas a eficiência de armazenamento; a eficiência de percolação e a eficiência de escoamento superficial. No primeiro *software*, as eficiências de aplicação para a primeira e segunda medição são de 54 % e 59 % respectivamente (*ver Tabela 12*) conferindo-lhes a categoria de baixas eficiências. Na mesma tabela, os valores da eficiência de uniformidade são de 94 % e 92 % respectivamente e estas se encontram dentro das classes aceitáveis de eficiências para rega por sulcos segundo a *Tabela 15*.

Para o *software* NRCS Surface os valores das eficiências de uniformidade são de 69 % e 74 % respectivamente (*ver Tabela 12*) conferindo-lhes a categoria de baixa para rega por sulcos, ainda que na mesma tabela a eficiência de aplicação seja de 62 % e 67 % respectivamente, estes grupos de eficiências não são desejáveis. Em relação ao armazenamento, os valores das eficiências apresentados com base nos dois *softwares* de simulação são satisfatórios para os sulcos medidos, porém, ficando baixos os valores das eficiências de aplicação e uniformidade. Em relação as eficiências de percolação profunda e de escoamento superficial, os valores percentuais são também baixos e podem ser melhorados com a implementação de práticas de campo como a redução do volume total aplicado aos sulcos de forma que este seja adequado para o declive do campo e o respectivo comprimento passando então a dotação de rega a compatibilizar-se com a necessidade de água para cada sulco sem causar perdas.

Os solos da EAU apresentam uma alta capacidade de infiltração, pelo que foram verificadas perdas por percolação profunda e perdas por escoamento superficial, este último devido aos elevados caudais fornecidos para o declive do campo que é 0.3% (*ver Tabela 10*).

Assim, com base nos *software* usados, a partir dos dados das medições de campo foi possível otimizar as eficiências calibrando parâmetros como o comprimento do sulco, o tempo de aplicação e o caudal, este últimos variado somente para o *software* NRCS Surface. Como foi descrito anteriormente o primeiro *software* só permite a otimização das eficiências com base num caudal fixo variando apenas o comprimento do sulco e o tempo de aplicação pelo que as eficiências simuladas encontram-se dentro dos padrões aceitáveis, avaliando em simultâneo a eficiência de aplicação e de uniformidade (*ver Tabela 13*).

Em relação ao *software* NRCS Surface, este permite que sejam simuladas eficiências alterando o caudal, o comprimento do sulco e o tempo de aplicação. Assim, o primeiro grupo de eficiências optimizadas foi mantido o caudal das medições de campo e variado o comprimento do sulco e o tempo de aplicação (*ver Tabela 13*). Para o segundo grupo de eficiências optimizadas, foi variado o caudal, o comprimento do sulco e o tempo de aplicação e as respectivas eficiências podem ser vistas em tabela (*ver Tabela 14*). Assim, a partir da *Tabela 15* é possível constatar que para os dois grupos de eficiências optimizadas os valores encontram-se dentro dos padrões aceitáveis para rega por sulcos.

Contudo, em relação aos parâmetros ajustados para otimizar às eficiências, para ambos os *softwares* manteve-se a mesma condição, isto é, as eficiências melhoram com a redução do tempo de corte e a redução do tempo de aplicação, ainda que para o *software* NRCS Surface pode-se alternar o caudal reduzindo-o para obter grupos de eficiências aceitáveis para rega por sulcos.

## 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como base as medições de campo com a finalidade de obter dados para a determinação das eficiências de rega da EAU e consecutivamente avaliar o seu desempenho. Para se alcançarem os objectivos traçados, foram determinadas através de *softwares* as seguintes eficiências: Eficiências de aplicação; Eficiências de armazenamento; Eficiências de uniformidade; Eficiências de percolação profunda e; Eficiências de escoamento superficial. Para este efeito, o desempenho de rega foi avaliados com base nas eficiências de aplicação e uniformidade de distribuição e os resultados indicam que essas eficiências se encontram na “classe baixa” para os dois *softwares* concluindo-se então que o sistema na EAU apresenta um baixo desempenho como pode se ver através dos seguintes dados.

Os valores apresentados para o primeiro *software* são os seguintes: Eficiência de aplicação/ 1º e 2º sulco = 54 % e 59 %; eficiência de uniformidade/ 1º e 2º sulco = 94 % e 94 %. O segundo *software* apresenta os seguintes valores: Eficiência de aplicação/ 1º e 2º sulco = 62 % e 67 %; eficiência de uniformidade/ 1º e 2º sulco = 69 % e 74 %.

Assim, comparando os *softwares* usados conclui-se que o *software* NRCS Surface (2º *software*) em relação ao primeiro faz uma exigência acrescida em termos de *inputs* obtidos com base nas medições de campo sendo eles o declive do campo, o factor de Manning e valores da sessão transversal dos sulcos. Esta constatação sugere, ainda que este *software* apresente essa vantagem e uma segurança em termos de resultados obtidos não devem ser menosprezados os resultados do primeiro *software* usado. Em relação as eficiências de percolação profunda e de escoamento superficial, estas apresentam também valores baixos e podem ser melhoradas com base nas práticas de campo como a redução do caudal fornecido ao sulco e o respectivo tempo de corte sendo que estes parâmetros devem ser adequados a um comprimento ideal do sulco.

Neste contexto, a implementação de mecanismos adequados na programação do sistema de rega e as respectivas práticas de operação que visem o incremento da uniformidade de distribuição e eficiências de aplicação pode permitir a obtenção de resultados satisfatórios em relação ao desempenho do método de rega.

Assim, para melhorar este desempenho de rega avaliado seguem-se as seguintes recomendações.

- a) Há uma necessidade de se fazer um nivelamento de precisão do campo em cada época de produção: Os benefícios desta prática prendem-se com o facto de que se precisará



de menor quantidade de água para completar a fase de avanço e culminará em melhores condições para a rega deficitária e para controlar as taxas de lavagem de sais;

- b) Deve-se optar por programar este processo de rega com tempo de corte antecipado: Providenciará a redução das dotações, a redução na taxa do escoamento superficial e a minimização da percolação profunda;
- c) Uma prática que é muito comum, mas que ainda não têm sido usadas na EAU é a irrigação em sulcos alternados: Deve-se optar por irrigar sulcos alternadamente de forma que permita a entrada de regantes nos sulcos secos para correcção de eventuais falhas de abertura nos canais e transborde de água para locais não programados;
- d) Há uma necessidade de melhorar a forma da secção transversal dos sulcos: Providenciará melhores condições para o escoamento e a infiltração nos sulcos favorecendo assim o desempenho da rega por sulcos.

Estes pontos mencionados são referentes às técnicas e aos seus benefícios sendo que outras intervenções podem ser feitas para melhorar o desempenho de rega por sulcos na EAU, entre elas o processo de condução e distribuição pelo qual a água é conduzida dos canais principais até aos campos de produção partir de canais de terra. Esta prática implica mais mão-de-obra e maiores custos de operação e à medida que a água avança o canal permite maior infiltração da água com enormes perdas antes mesmo de chegar ao campo. Assim, seguem-se as seguintes recomendações:

- a) Revestir os canais com comportas e válvulas que não permitem fugas: facilidade de controlo de caudais e para um sistema automatizado;
- b) Optimizar a construção dos canais de condução: Facilidade de controlo dos caudais fornecidos aos sulcos com uso de sifões e melhorias do controlo das infiltrações.

Assim, tomando em consideração os dados obtidos nas medições de campo na Estação Agrária do Umbeluzi, recomenda-se um redimensionamento do projecto de rega por sulcos,

ou seja, a construção de sulcos com a forma trapezoidal por causa da capacidade de manejo, o comprimento dos sulcos deve ser reduzido e o caudal gerido para estas condições de modo a obter bons resultados das práticas de irrigação.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, J. (2012) *Notas de aulas de Planeamento do Uso de Terra e Água*. Mestrado em Gestão de Solos e Água/ Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal/ Universidade Eduardo Mondlane. Maputo;
- BERNARDO, S. (2002) *Manual de Irrigação*. 6ª edição. Viçosa. Brasil;
- BRITO, M. R. L. (2012) *Notas de aulas de Projectos de Irrigação. Rega por sulcos*. Mestrado em Gestão de Solos e Água/ Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal/ Universidade Eduardo Mondlane. Maputo;
- BROUWER, C., GOFFEAU, A., PLUSJÉ, J., HEIBLOEM, M. (1985) *Irrigation Water Management: Elements of Topographic Surveying*. Training manual n° 2. FAO. Italia, Rome;
- BROUWER, C., PRINS, K., HEIBLOEM, M. (1989) *Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling*. Training manual n° 4. FAO. Italia, Rome;
- BROUWER, C., PRINS, K., KAY, M., HEIBLOEM, M. (1985) *Irrigation Water Management: Irrigation Methods*. Training manual n° 5. FAO. Netherlands;
- BURT, C. M., CLEMMENS, A. J., STRELKOFF, T. S., SOLOMON, K. H., BLIESNER, R. D., HARDY, L. A., HOWELL, T. A., EISENHAUER, D. E., (1997) *Irrigation performance measures: efficiency and uniformity*. J. Irrig. Drain. Engng. 123: 423-442;
- CARVALHO, D. F., SILVA, W. A., MEDICE, L.O., PEREIRA, M.G. (2001) *Avaliação de um sistema automático de baixo custo para manejo da irrigação*. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 30, 2001, Foz do Iguacu. Anais... Foz do Iguacu: SBEA, 2001. CD-ROM;
- CASTRO, N. (2001) *Irrigação por sulcos*. Notas de Aula de Irrigação e Drenagem – IPH-UFRGS, Versão Preliminar baseado em SALASSIER (1989);
- CTA, (2008) *Competitividade da Agricultura em Moçambique*. Maputo;
- CONSULTEC-Consultores Associados, (1992) *Monografia hidrográfica da Bacia do Umbeluzi*; Volume I-Texto ; pp 2-1,2-5, 2-20/21, tabelas 3.5.1 (1/6), (2/6) e 3.5.2-DNA

- De BELLINASO, T. B. (2002) *Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena Bacia Hidrográfica urbana de encosta*. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Brasil
- De GONÇALVES, L. (2006) *Avaliação da eficiência da rega por sulcos numa área de 16 ha para a cultura do tomate no Distribuidor-9 do Regadio de Chókwè*. Tese de Licenciatura. FAEF. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo;
- De PINHO, M. (2006) *Avaliação da eficiência de rega por sulcos em 32 ha de cultura de tomate no Distribuidor 9 (D9) Regadio de Chókwè*. Tese de Licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane /Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Maputo;
- De LACAMURIMA, F. M. (2003) *Impacto da precipitação das cheias na Bacia do Umbeluzi*. Maputo. Tese de Licenciatura. UEM-Faculdade de Ciências. Maputo;
- De MUNGUAMBE, P. (1998) *Problemática na drenagem de machongos: Estudo de caso dos machongos no vale do rio Inhanombe. Inhambane*. Tese de Licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane /Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Maputo;
- FAO, (1988) *Irrigation Water Management: Irrigation methods*. Furrow irrigation; Chapter 3;
- GONÇALVES, P. (1999) Design of sustainable on-farm surface irrigation systems with a decision support system. In: A. Musy, L.S. Pereira and M. Fritsch (eds.) *Emerging Technologies for Sustainable Land Use and Water Management* (2nd Inter-Regional Conf. Environment-Water, Lausanne), Presses Polytechniques et Universitaires Romandes;
- IIAM, (1993) *Levantamento detalhado de solos da Estação Agrária de Umbelúzi*. Série Terra e Água. Maputo;
- JUSCELINO, A., EUSÉBIO, M. (2001) *Parâmetros operacionais da irrigação por sulcos em contorno em LE argiloso de Cerrado*. Recomendação técnica 38. Setembro, Brasília, Brasil;
- LOPEZ, A. S., GUILHERME, L. R., (2003) *Interpretação de análise do solo. Conceitos e Aplicações*. São Paulo. Brasil;

- MARTINS, P. R., PAIVA, J. B. (2001) Quantidade dos recursos hídricos. In: *hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, cap. 18, p. 555-594;
- NRCS, (2006) *Surface Irrigation. National Engineering Handbook*. Natural Resources Conservation Service. Part 623. Irrigation;
- PDDB, (2005); *Perfis distritais de Moçambique. Perfil do Distrito de Boane*. Edição 2005;
- PEREIRA, L. S., OWEIS, T., ZAIRI, A. (2002) *Irrigation management under water scarcity*. *Agric. Water Manage.* 57: 175-206.;
- RAWLS, W. J., DAVID, G., VAN MULLEN, J. A., WARD, T. J. (1996) *Infiltration*. In: *ASCE Hydrology Handbook. 2.ed.* New York. p. 75-124. (ASCE Manuals and Report on Engineering Practice, 28);
- REGINA, C. M., SAKAI, E., FLÁVIO, B., FUJIWARA, M., RINALDO, R. (1999) *Métodos e manejo da irrigação. Agrometeorologia como suporte ao manejo de recursos hídricos e preservação de mananciais*. Brasil;
- ROSCHEK, K. (1985) *Surface irrigation: Characteristics, design and performance*. Department of Irrigation and Civil Engineering. Agricultural University. Wageningen. The Netherlands;
- TAIZ, L. (1991) *Plant Physiology. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc.; Redwood City*.
- TESTEZLAF, D., MATSURA, E. (2001) *Fatores que afetam a eficiência do uso da água e o desempenho de sistemas de irrigação*. Faculdade de engenharia agrícola. UNICAMP;
- URCHEI, M. A., FIETZ, C. R. (2001) *Princípios de Agricultura Irrigada: Caracterização e potencialidades em Mato Grosso do Sul*. Embrapa Agropecuária Oeste. Brasil;
- USDA, (2003) *Furrow Irrigation*. Soil Conservation Service. Chapter 5;
- WALKER, W. R. (1989) FAO. irrigation and drainage paper 45: *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems*. Department of Agricultural and Irrigation Engineering. Utah State University. Logan. Utah. US.

# **ANEXOS**

**Dados em anexos compreendem os valores obtidos através das medições de campo na Estação Agrária do Umbeluzi e o respetivo procedimento de cálculo para a determinação das eficiências de rega.**

**Anexo (1-A):** Resultados do levantamento topográfico referentes ao nivelamento principal.

Pontos	Leituras no fio médio		Desníveis	Correcção	Desnível Corrigido	Coordenadas		Cotas
	Atrás (b)	Adiante (b)				x	y	
<i>E-1</i>	1.255					437244	7118633	0.00
1	1.352	1.380	-0.125	0.000	-0.125	437217	7118666	-0.13
2	1.545	1.567	-0.215	0.000	-0.215	437189	7118700	-0.34
<i>E-2</i>	1.604	1.570	-0.025	0.000	-0.025	437162	7118733	-0.37
3	1.198	1.498	0.106	0.000	0.106	437196	7118764	-0.26
4	1.621	1.418	-0.220	0.000	-0.220	437231	7118795	-0.48
5	1.793	1.418	0.203	0.000	0.203	437265	7118822	-0.28
<i>E-3</i>	1.648	1.749	0.044	0.000	0.044	437297	7118854	-0.23
6	1.613	1.486	0.162	0.000	0.162	437322	7118820	-0.07
7	1.516	1.506	0.107	0.000	0.107	437351	7118789	0.04
<i>E-4</i>	1.652	1.460	0.056	0.000	0.056	437381	7118754	0.09
8	1.785	1.651	0.001	0.000	0.001	437348	7118722	0.09
9	1.469	1.616	0.169	0.000	0.169	437312	7118693	0.26
10	1.645	1.590	-0.121	0.000	-0.121	437280	7118666	0.14
<i>E-1</i>		1.765	-0.120	0.000	-0.120	437245	7118637	0.02
-	-	-	0.022	-	0.022	-	-	-

**Anexo (1-B):** Resultados do levantamento topográfico referentes ao nivelamento secundário.

Pontos	Leituras no fio médio		Desníveis	Correcção	Desnível Corrigido	Coordenadas		Cotas
	Atrás (b)	Adiante (b)				x	y	
<i>E-1</i>	1.654					437245	7118638	0.02
11	1.361	1.618	0.036	0.000	0.036	437254	7118699	0.06
12	1.506	1.647	-0.286	0.000	-0.286	437227	7118731	-0.23
13	1.590	1.847	-0.341	0.000	-0.341	437257	7118758	-0.57
14	1.184	1.444	0.146	0.000	0.146	437283	7118726	-0.42
15	1.615	1.422	-0.238	0.000	-0.238	437294	7118790	-0.66
16	1.399	1.166	0.449	0.000	0.449	437316	7118758	-0.21
17		1.345	0.054	0.000	0.054	437324	7118818	-0.16
-	-	-	-0.180	-	-0.180	-	-	-

**Anexo (1-C):** Resultados do levantamento topográfico referentes ao cálculo da área.

Pontos	Coordenadas iniciais		Coordenadas reduzidas à origem		X(a) + X(b)	Y(a) – Y(b)	produtos de +/-	X(a) – X(b)	Y(a) + Y(b)	produtos de -/+
	x	y	Xi=437244	Yi=7118633						
<b>E-1</b>	437244	7118633	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
1	437217	7118666	-27.0	33.0	-27.0	33.0	-891.0	-27.0	33.0	-891
2	437189	7118700	-55.0	34.0	-82.0	1.0	-82.0	-28.0	67.0	-1876
<b>E-2</b>	437162	7118733	-82.0	100.0	-137.0	66.0	-9042.0	-27.0	134.0	-3618
3	437196	7118764	-48.0	131.0	-130.0	31.0	-4030.0	34.0	231.0	7854
4	437231	7118795	-13.0	162.0	-61.0	31.0	-1891.0	35.0	293.0	10255
5	437265	7118822	21.0	189.0	8.0	27.0	216.0	34.0	351.0	11934
<b>E-3</b>	437297	7118854	53.0	221.0	74.0	32.0	2368.0	32.0	410.0	13120
6	437322	7118820	78.0	187.0	131.0	-34.0	-4454.0	25.0	408.0	10200
7	437351	7118789	107.0	156.0	185.0	-31.0	-5735.0	29.0	343.0	9947
<b>E-4</b>	437381	7118754	137.0	121.0	244.0	-35.0	-8540.0	30.0	277.0	8310
8	437348	7118722	104.0	89.0	241.0	-32.0	-7712.0	-33.0	210.0	-6930
9	437312	7118693	68.0	60.0	172.0	-29.0	-4988.0	-36.0	149.0	-5364
10	437280	7118666	36.0	33.0	104.0	-27.0	-2808.0	-32.0	93.0	-2976
<b>E-1</b>	437244	7118633	0.0	0.0	36.0	-33.0	-1188.0	-36.0	33.0	-1188
							<b>-48777.0</b>	-		<b>48777</b>
ÁREA (m <sup>2</sup> )							<b>-24388.5</b>	Dif	0.00	<b>24388.5</b>
ÁREA (ha)							<b>-2.43885</b>	Dif	0.00	<b>2.43885</b>



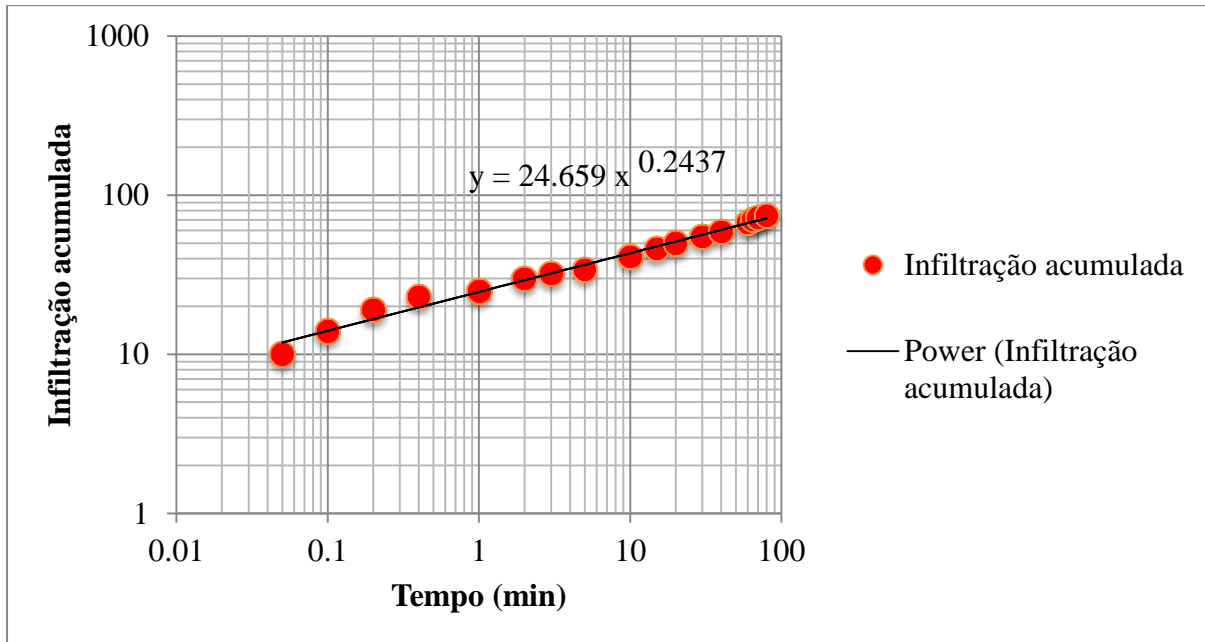
**Anexo (2-A):** Resultados dos dados de infiltração dos solos da primeira medição de campo

N° da Leitura	Tempo (min)	Altura (cm)	Adição de água	Diferença de alturas ( $\Delta h$ )	Tempo (min)	Infiltração acumulada
1	0	13.5	-	0	-	-
2	0.05	12.5	-	1	0.05	10
3	0.10	12.1	-	0.4	0.10	14
4	0.20	11.6	-	0.5	0.20	19
5	0.40	11.2	-	0.4	0.40	23
6	1.00	11	-	0.2	1.00	25
7	2.00	10.5	-	0.5	2.00	30
8	3.00	10.3	-	0.2	3.00	32
9	5.00	10.1	-	0.2	5.00	34
10	10.00	9.4	14.8	0.7	10.00	41
11	15.00	14.3	-	0.5	15.00	46
12	20.00	13.9	-	0.4	20.00	50
13	30.00	13.4	-	0.5	30.00	55
14	40.00	13	-	0.4	40.00	59
15	60.00	12.2	-	0.8	60.00	67
16	65.00	11.9	-	0.3	65.00	70
17	70.00	11.7	-	0.2	70.00	72
18	80.00	11.5	-	0.2	80.00	74

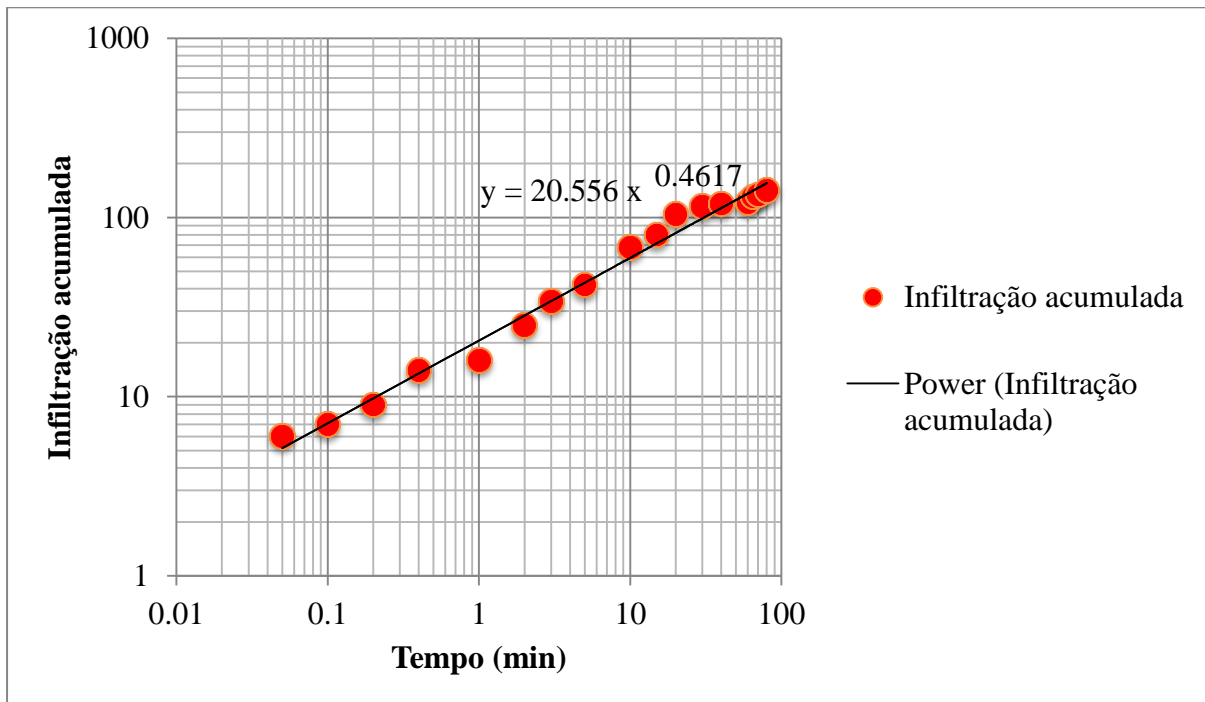
**Anexo (2-B):** Resultados de infiltração dos solos da segunda medição de campo.

<i>N° da Leitura</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Adição de água</i>	<i>Diferença de alturas (<math>\Delta h</math>)</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Infiltração acumulada</i>
1	0	10.9	-	0	-	-
2	0.05	10.3	-	0.6	0.05	6
3	0.10	10.2	-	0.1	0.10	7
4	0.20	10	-	0.2	0.20	9
5	0.40	9.5	-	0.5	0.40	14
6	1.00	9.3	-	0.2	1.00	16
7	2.00	8.4	-	0.9	2.00	25
8	3.00	7.5	-	0.9	3.00	34
9	5.00	6.7	11.9	0.8	5.00	42
10	10.00	9.3	-	2.6	10.00	68
11	15.00	8.1	11.8	1.2	15.00	80
12	20.00	9.4	-	2.4	20.00	104
13	30.00	8.3	-	1.1	30.00	115
14	40.00	7.9	12.2	0.4	40.00	119
15	60.00	11.9	-	0.3	60.00	122
16	65.00	11.1	-	0.8	65.00	130
17	70.00	10.7	-	0.4	70.00	134
18	80.00	9.9	-	0.8	80.00	142

**Anexo (2-C).** Representação da curva de infiltração dos solos da primeira medição (Tabela do anexo 2-A).



**Anexo (2-D).** Representação da curva de infiltração dos solos da segunda medição (Tabela do anexo 2-B).



**ANEXO (3-A): 1º Sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de entrada.**

<b>Flume:</b>	<b>In flow</b>
<b>Data:</b>	15/05/2013
<b>Tempo total (seg):</b>	1550
<b>Largura (m):</b>	0.7
<b>Comprimento (m):</b>	125
<b>Lâminas de irrigação:</b>	106.6

<b>TL (cm):</b>	15
<b>ho (cm):</b>	5.6
<b>a:</b>	0.1508
<b>b:</b>	1.7358

**Legenda:** no anexo (3-A), **a** e **b** são parâmetros de calibração; **ho** é a altura mínima da água no flume;

Tempo (min)	Tempo (seg)	Altura (cm)	hz (cm)	hv (cm)	Fluxo (l/seg)	Volume (litros)	1.50	90	13.9	8.3	7.42	4.9	24.47
							1.58	95	13.9	8.3	7.42	4.9	24.47
0.08	5	6.5	0.9	0.80	0.1	0.52	1.67	100	13.9	8.3	7.42	4.9	24.47
0.17	10	6.9	1.3	1.16	0.2	0.98	1.75	105	13.9	8.3	7.42	4.9	24.47
0.25	15	7.1	1.5	1.34	0.3	1.26	1.83	110	14.2	8.6	7.69	5.2	26.02
0.33	20	7.5	1.9	1.70	0.4	1.89	1.92	115	14.3	8.7	7.78	5.3	26.55
0.42	25	7.9	2.3	2.06	0.5	2.64	2.00	120	14.5	8.9	7.96	5.5	27.62
0.5	30	8.0	2.4	2.15	0.6	2.84	2.08	125	14.5	8.9	7.96	5.5	27.62
0.58	35	8.9	3.3	2.95	1.0	4.94	2.17	130	14.5	8.9	7.96	5.5	27.62
0.67	40	9.4	3.8	3.40	1.3	6.30	2.25	135	14.5	8.9	7.96	5.5	27.62
0.75	45	10.3	4.7	4.20	1.8	9.12	2.33	140	14.6	9.0	8.05	5.6	28.16
0.83	50	11.0	5.4	4.83	2.3	11.6	2.42	145	14.6	9.0	8.05	5.6	28.16
0.92	55	11.8	6.2	5.55	2.9	14.75	2.50	150	14.7	9.1	8.14	5.7	28.71
1	60	12.5	6.9	6.17	3.6	17.76	2.58	155	14.9	9.3	8.32	6.0	29.81
1.08	65	12.7	7.1	6.35	3.7	18.66	2.67	160	14.9	9.3	8.32	6.0	29.81
1.17	70	12.9	7.3	6.53	3.9	19.58	2.75	165	15.2	9.6	8.59	6.3	31.50
1.25	75	13.2	7.6	6.80	4.2	21.00	2.83	170	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07
1.33	80	13.3	7.7	6.89	4.3	21.48	2.92	175	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07
1.42	85	13.5	7.9	7.07	4.5	22.46	3.00	180	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07

3.08	185	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07	5.42	325	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4
3.17	190	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07	5.5	330	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4
3.25	195	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07	5.67	340	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.33	200	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07	5.83	350	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.42	205	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07	6	360	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.5	210	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07	6.17	370	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.58	215	15.3	9.7	8.68	6.4	32.07	6.33	380	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.67	220	15.4	9.8	8.77	6.5	32.65	6.5	390	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.75	225	15.4	9.8	8.77	6.5	32.65	6.67	400	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.83	230	15.5	9.9	8.85	6.6	33.23	6.83	410	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
3.92	235	15.5	9.9	8.85	6.6	33.23	7	420	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
4	240	15.4	9.8	8.77	6.5	32.65	7.17	430	15.6	10	8.94	6.8	67.62
4.08	245	15.4	9.8	8.77	6.5	32.65	7.33	440	15.6	10	8.94	6.8	67.62
4.17	250	15.4	9.8	8.77	6.5	32.65	7.5	450	15.6	10	8.94	6.8	67.62
4.25	255	15.5	9.9	8.85	6.6	33.23	7.67	460	15.6	10	8.94	6.8	67.62
4.33	260	15.5	9.9	8.85	6.6	33.23	7.83	470	15.6	10	8.94	6.8	67.62
4.42	265	15.5	9.9	8.85	6.6	33.23	8	480	15.6	10	8.94	6.8	67.62
4.5	270	15.5	9.9	8.85	6.6	33.23	8.17	490	15.6	10	8.94	6.8	67.62
4.58	275	15.5	9.9	8.85	6.6	33.23	8.33	500	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
4.67	280	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	8.5	510	15.7	10.1	9.03	6.9	68.8
4.75	285	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	8.67	520	15.8	10.2	9.12	7	69.99
4.83	290	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	8.83	530	15.8	10.2	9.12	7	69.99
4.92	295	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	9	540	15.8	10.2	9.12	7	69.99
5	300	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	9.17	550	15.8	10.2	9.12	7	69.99
5.08	305	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	9.33	560	15.8	10.2	9.12	7	69.99
5.17	310	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	9.5	570	15.8	10.2	9.12	7	69.99
5.25	315	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	9.67	580	15.8	10.2	9.12	7	69.99
5.33	320	15.7	10.1	9.03	6.9	34.4	9.83	590	15.8	10.2	9.12	7	69.99

10	600	15.8	10.2	9.12	7	69.99	14.67	880	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
10.17	610	15.8	10.2	9.12	7	69.99	14.83	890	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
10.33	620	15.8	10.2	9.12	7	69.99	15	900	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
10.5	630	15.8	10.2	9.12	7	69.99	15.17	910	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
10.67	640	15.8	10.2	9.12	7	69.99	15.33	920	16.2	10.6	9.48	7.5	74.82
10.83	650	15.8	10.2	9.12	7	69.99	15.5	930	16.2	10.6	9.48	7.5	74.82
11	660	15.8	10.2	9.12	7	69.99	15.67	940	16.3	10.7	9.57	7.6	76.05
11.17	670	15.8	10.2	9.12	7	69.99	15.83	950	16.3	10.7	9.57	7.6	76.05
11.33	680	15.8	10.2	9.12	7	69.99	16	960	16.4	10.8	9.66	7.7	77.29
11.5	690	15.8	10.2	9.12	7	69.99	16.17	970	16.4	10.8	9.66	7.7	77.29
11.67	700	15.8	10.2	9.12	7	69.99	16.33	980	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
11.83	710	15.8	10.2	9.12	7	69.99	16.5	990	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
12	720	15.8	10.2	9.12	7	69.99	16.67	1000	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
12.17	730	15.9	10.3	9.21	7.1	71.18	16.83	1010	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
12.33	740	15.9	10.3	9.21	7.1	71.18	17	1020	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
12.5	750	15.9	10.3	9.21	7.1	71.18	17.17	1030	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
12.67	760	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	17.33	1040	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
12.83	770	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	17.5	1050	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
13	780	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	17.67	1060	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
13.17	790	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	17.83	1070	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
13.33	800	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	18	1080	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
13.5	810	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	18.17	1090	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
13.67	820	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	18.33	1100	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
13.83	830	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	18.5	1110	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
14	840	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	18.67	1120	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
14.17	850	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	18.83	1130	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
14.33	860	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	19	1140	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
14.5	870	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6	19.17	1150	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53

19.5	1170	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53	24.33	1460	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32
19.67	1180	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	24.5	1470	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32
19.83	1190	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	24.67	1480	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32
20	1200	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	24.83	1490	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32
20.17	1210	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	25	1500	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32
20.33	1220	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	25.17	1510	16.5	10.9	9.75	7.9	78.53
20.5	1230	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	25.33	1520	13.3	7.7	6.89	4.3	42.96
20.67	1240	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	25.5	1530	10	4.4	3.94	1.6	16.26
20.83	1250	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	25.67	1540	7.1	1.5	1.34	0.3	2.51
21	1260	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05	25.83	1550	6.8	1.2	1.07	0.2	1.71
21.17	1270	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
21.33	1280	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
21.5	1290	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
21.67	1300	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
21.83	1310	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
22	1320	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
22.17	1330	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
22.33	1340	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
22.5	1350	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
22.67	1360	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
22.83	1370	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
23	1380	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
23.17	1390	16.7	11.1	9.93	8.1	81.05							
23.33	1400	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32							
23.5	1410	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32							
23.67	1420	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32							
23.83	1430	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32							
24	1440	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32							
24.17	1450	16.8	11.2	10.02	8.2	82.32							

Volume máximo **10658.48**

**ANEXO (3-B): 1º Sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de entrada.**

<b>Flume:</b>	<b>Out flow</b>
<b>Data:</b>	15/05/2013
<b>Tempo total (Seg):</b>	0
<b>Largura (m):</b>	0.7
<b>Comprimento (m):</b>	125
<b>Lâminas de irrigação:</b>	106.6

<b>TL (cm):</b>	15 (cm)
<b>ho (cm):</b>	5.6
<b>a:</b>	0.1508
<b>b:</b>	1.7358

**Legenda:** no anexo (1-1), **a** e **b** são parâmetros de calibração; **ho** é a altura mínima da água no flume;

Tempo (min)	Tempo (seg)	Altura (cm)	hz (cm)	hv hv (cm)	Fluxo (l/s)	Volume (litros)	1.5	90	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.08	5	5.9	0.3	0.27	0.02	0.08	1.58	95	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.17	10	6.2	0.6	0.54	0.05	0.26	1.67	100	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.25	15	6.3	0.7	0.63	0.07	0.33	1.75	105	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.33	20	6.3	0.7	0.63	0.07	0.33	1.83	110	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.42	25	6.3	0.7	0.63	0.07	0.33	1.92	115	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.42	25	6.5	0.9	0.8	0.1	0.52	2	120	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.5	30	6.6	1	0.89	0.12	0.62	2.08	125	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.58	35	6.9	1.3	1.16	0.2	0.98	2.17	130	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.67	40	10	4.4	3.94	1.63	8.13	2.25	135	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.75	45	10.2	4.6	4.11	1.76	8.78	2.33	140	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.83	50	10.3	4.7	4.2	1.82	9.12	2.42	145	12	6.4	5.72	3.12	15.58
0.92	55	10.4	4.8	4.29	1.89	9.46	2.5	150	12	6.4	5.72	3.12	15.58
1	60	10.6	5	4.47	2.03	10.15	2.58	155	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
1.08	65	10.9	5.3	4.74	2.25	11.23	2.67	160	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
1.17	70	11.2	5.6	5.01	2.47	12.36	2.75	165	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
1.25	75	11.5	5.9	5.28	2.71	13.53	2.83	170	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
1.33	80	11.7	6.1	5.46	2.87	14.34	2.92	175	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
1.42	85	12	6.4	5.72	3.12	15.58	3	180	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01



3.08	185	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
3.17	190	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
3.25	195	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
3.33	200	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
3.42	205	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
3.5	210	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
3.67	220	12.1	6.5	5.81	3.2	32.01
3.83	230	12.1	6.5	5.81	3.2	32.01
4	240	12.1	6.5	5.81	3.2	32.01
4.17	250	11.8	6.2	5.55	2.95	29.49
4.33	260	11.8	6.2	5.55	2.95	29.49
4.5	270	11.5	5.9	5.28	2.71	27.06
4.67	280	11.4	5.8	5.19	2.63	26.27
4.83	290	11.3	5.7	5.1	2.55	25.49
5	300	11.1	5.5	4.92	2.4	23.96
5.17	310	10.5	4.9	4.38	1.96	19.6
5.33	320	10.4	4.8	4.29	1.89	18.91
5.5	330	10.4	4.8	4.29	1.89	18.91
5.67	340	10.2	4.6	4.11	1.76	17.57
5.83	350	10.1	4.5	4.02	1.69	16.91
6	360	9.7	4.1	3.67	1.44	14.39
6.17	370	9.5	3.9	3.49	1.32	13.19
6.33	380	9.3	3.7	3.31	1.2	12.04
6.5	390	9.1	3.5	3.13	1.09	10.93
6.67	400	8.9	3.3	2.95	0.99	9.87

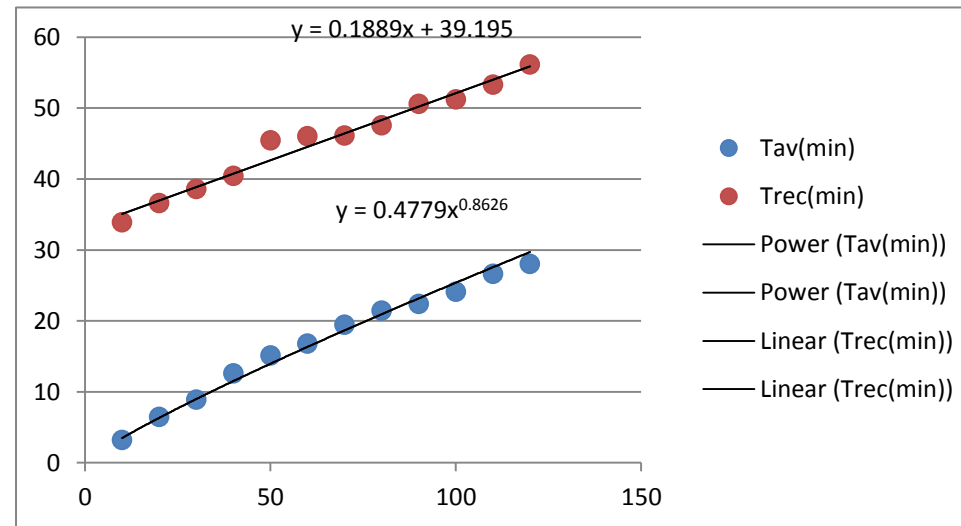
Volume máximo 920.59

**ANEXO (3-C): 1º Sulco - cálculo de volumes pelo método de Parshal Flume**

	inflow	outflow
Volumes (m³)	10658.5	920.6
Caudal (l/s)	6.33	2.3
Comprimento da cabe. (m)	120	-
Tempo de aplicação (min)	39	-

**ANEXO (3-D): 1º Sulco - Determinação da equação de do (P. de Av.) e de (P. de Reç.)**

Dist (m)	T. av (min)	T. rec (min)
10	3.20	33.90
20	6.44	36.58
30	8.90	38.58
40	12.57	40.4
50	15.10	45.41
60	16.8	46.00
70	19.43	46.12
80	21.42	47.57
90	22.38	50.55
100	24.11	51.2
110	26.60	53.28
120	28.00	56.11



Resumo das curvas	
P. de Av.	0.4779
r. de Av.	0.8626
P. de rec.	0.1889
T. aplic	39 min

**ANEXO (3-E): 1º Sulco - Determinação da dotação com base na equação da inf. acumulada**

$$I_{cum} = 20.556 * t^{0.4617}$$

<b>Distância (m)</b>	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Tempo avanço (min)</b>	3.1	6.54	9.4	12.45	14.3	17	19.31	21.55	23	24.43	26.6	28.12
<b>Tempo recessão (min)</b>	33.9	36.58	38.58	40.4	45.4	46	46.12	47.57	50.55	51.2	53.28	56.11
<b>Tempo oportunidade (min)</b>	30.8	30.04	29.18	27.95	31.1	29	26.81	26.02	27.55	26.77	26.68	27.99
<b>Dotação (cm)</b>	100.0	98.9	97.6	95.7	100.5	97.3	93.8	92.6	95.0	93.8	93.6	95.7
<b>Medias por cada 2 pontos (cm)</b>	99.5	98.2	96.6	98.1	98.9	95.6	93.2	93.8	94.4	93.7	94.7	-
<b>Dotação média</b>						<b>96.1</b>						

**ANEXO (3-F): 2° Sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de entrada.**

<b>Flume:</b>	<b>In flow</b>	<b>TL (cm):</b>	15 (cm)
<b>Data:</b>	15/05/2013	<b>ho (cm):</b>	5.6
<b>Tempo total (seg):</b>	0	<b>a:</b>	0.1508
<b>Largura (m):</b>	0.7	<b>b:</b>	1.7358
<b>Comprimento (m):</b>	125		
<b>Lâminas de irrigação:</b>	79.6		

**Legenda:** no anexo (3-B), **a** e **b** são parâmetros de calibração; **ho** é a altura mínima da água no flume;

Tempo (min)	Tempo (seg)	Altura (cm)	hz (cm)	hv hv (cm)	Fluxo (l/s)	Volume (litros)	1.5	90	8.2	2.6	2.33	0.7	3.26
0.08	5	7.1	1.5	1.34	0.3	1.26	1.58	95	8.2	2.6	2.33	0.7	3.26
0.17	10	7.1	1.5	1.34	0.3	1.26	1.67	100	8.3	2.7	2.41	0.7	3.48
0.25	15	7.2	1.6	1.43	0.3	1.4	1.75	105	8.4	2.8	2.5	0.7	3.71
0.33	20	7.3	1.7	1.52	0.3	1.56	1.83	110	8.4	2.8	2.5	0.7	3.71
0.42	25	7.3	1.7	1.52	0.3	1.56	1.92	115	8.5	2.9	2.59	0.8	3.94
0.5	30	7.4	1.8	1.61	0.3	1.72	2	120	8.6	3	2.68	0.8	4.18
0.58	35	7.4	1.8	1.61	0.3	1.72	2.08	125	8.7	3.1	2.77	0.9	4.43
0.67	40	7.5	1.9	1.7	0.4	1.89	2.17	130	8.9	3.3	2.95	1	4.94
0.75	45	7.6	2	1.79	0.4	2.07	2.25	135	8.9	3.3	2.95	1	4.94
0.83	50	7.6	2	1.79	0.4	2.07	2.33	140	9	3.4	3.04	1	5.2
0.92	55	7.6	2	1.79	0.4	2.07	2.42	145	9	3.4	3.04	1	5.2
1	60	7.8	2.2	1.97	0.5	2.44	2.5	150	10.1	4.5	4.02	1.7	8.45
1.08	65	7.8	2.2	1.97	0.5	2.44	2.58	155	10.2	4.6	4.11	1.8	8.78
1.17	70	7.9	2.3	2.06	0.5	2.64	2.67	160	10.2	4.6	4.11	1.8	8.78
1.25	75	8	2.4	2.15	0.6	2.84	2.75	165	10.3	4.7	4.2	1.8	9.12
1.33	80	8.1	2.5	2.24	0.6	3.05	2.83	170	10.4	4.8	4.29	1.9	9.46
1.42	85	8.2	2.6	2.33	0.7	3.26	2.92	175	10.5	4.9	4.38	2	9.8
							3	180	10.6	5	4.47	2	10.15

3.08	185	10.8	5.2	4.65	2.2	10.87	5.5	330	14.3	8.7	7.78	5.3	26.55
3.17	190	10.9	5.3	4.74	2.2	11.23	5.67	340	14.5	8.9	7.96	5.5	55.24
3.25	195	11	5.4	4.83	2.3	11.6	5.83	350	14.8	9.2	8.23	5.9	58.51
3.33	200	11	5.4	4.83	2.3	11.6	6	360	14.8	9.2	8.23	5.9	58.51
3.42	205	11.1	5.5	4.92	2.4	11.98	6.17	370	15	9.4	8.41	6.1	60.74
3.5	210	11.2	5.6	5.01	2.5	12.36	6.33	380	15	9.4	8.41	6.1	60.74
3.58	215	11.4	5.8	5.19	2.6	13.13	6.5	390	15.1	9.5	8.5	6.2	61.86
3.67	220	11.6	6	5.37	2.8	13.93	6.67	400	15.2	9.6	8.59	6.3	63
3.75	225	11.8	6.2	5.55	2.9	14.75	6.83	410	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
3.83	230	12	6.4	5.72	3.1	15.58	7	420	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
3.92	235	12	6.4	5.72	3.1	15.58	7.17	430	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4	240	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01	7.33	440	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4.08	245	12.2	6.6	5.9	3.3	16.44	7.5	450	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4.17	250	12.3	6.7	5.99	3.4	16.87	7.67	460	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4.25	255	12.5	6.9	6.17	3.6	17.76	7.83	470	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4.33	260	12.5	6.9	6.17	3.6	17.76	8	480	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4.42	265	12.5	6.9	6.17	3.6	17.76	8.17	490	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4.5	270	12.6	7	6.26	3.6	18.2	8.33	500	15.4	9.8	8.77	6.5	65.29
4.58	275	12.6	7	6.26	3.6	18.2	8.5	510	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
4.67	280	12.6	7	6.26	3.6	18.2	8.67	520	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
4.75	285	12.7	7.1	6.35	3.7	18.66	8.83	530	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
4.83	290	12.7	7.1	6.35	3.7	18.66	9	540	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
4.92	295	12.8	7.2	6.44	3.8	19.12	9.17	550	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
5	300	13	7.4	6.62	4	20.05	9.33	560	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
5.08	305	13.2	7.6	6.8	4.2	21	9.5	570	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
5.17	310	13.4	7.8	6.98	4.4	21.97	9.67	580	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
5.25	315	13.5	7.9	7.07	4.5	22.46	9.83	590	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
5.33	320	13.7	8.1	7.24	4.7	23.45	10	600	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
5.42	325	14.1	8.5	7.6	5.1	25.5	10.17	610	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45
10.33	620	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45	15.17	910	15.9	10.3	9.21	7.1	71.18

10.5	630	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45	15.33	920	15.9	10.3	9.21	7.1	71.18
10.67	640	15.5	9.9	8.85	6.6	66.45	15.5	930	15.9	10.3	9.21	7.1	71.18
10.83	650	15.6	10	8.94	6.8	67.62	15.67	940	15.9	10.3	9.21	7.1	71.18
11	660	15.6	10	8.94	6.8	67.62	15.83	950	16	10.4	9.3	7.2	72.39
11.17	670	15.6	10	8.94	6.8	67.62	16	960	16	10.4	9.3	7.2	72.39
11.33	680	15.6	10	8.94	6.8	67.62	16.17	970	16	10.4	9.3	7.2	72.39
11.5	690	15.6	10	8.94	6.8	67.62	16.33	980	16	10.4	9.3	7.2	72.39
11.67	700	15.6	10	8.94	6.8	67.62	16.5	990	16	10.4	9.3	7.2	72.39
11.83	710	15.6	10	8.94	6.8	67.62	16.67	1000	16	10.4	9.3	7.2	72.39
12	720	15.6	10	8.94	6.8	67.62	16.83	1010	16	10.4	9.3	7.2	72.39
12.17	730	15.6	10	8.94	6.8	67.62	17	1020	16	10.4	9.3	7.2	72.39
12.33	740	15.6	10	8.94	6.8	67.62	17.17	1030	16	10.4	9.3	7.2	72.39
12.5	750	15.6	10	8.94	6.8	67.62	17.33	1040	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
12.67	760	15.6	10	8.94	6.8	67.62	17.5	1050	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
12.83	770	15.6	10	8.94	6.8	67.62	17.67	1060	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
13	780	15.6	10	8.94	6.8	67.62	17.83	1070	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
13.17	790	15.6	10	8.94	6.8	67.62	18	1080	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
13.33	800	15.8	10.2	9.12	7	69.99	18.17	1090	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
13.5	810	15.8	10.2	9.12	7	69.99	18.33	1100	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
13.67	820	15.8	10.2	9.12	7	69.99	18.5	1110	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
13.83	830	15.8	10.2	9.12	7	69.99	18.67	1120	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
14	840	15.8	10.2	9.12	7	69.99	18.83	1130	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
14.17	850	15.8	10.2	9.12	7	69.99	19	1140	16.2	10.6	9.48	7.5	74.82
14.33	860	15.8	10.2	9.12	7	69.99	19.17	1150	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
14.5	870	15.8	10.2	9.12	7	69.99	19.33	1160	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
14.67	880	15.8	10.2	9.12	7	69.99	19.5	1170	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
14.83	890	15.8	10.2	9.12	7	69.99	19.67	1180	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6
15	900	15.8	10.2	9.12	7	69.99	19.83	1190	16.1	10.5	9.39	7.4	73.6



**ANEXO (3-G): 2º Sulco - Dados da medição de campo referente ao fluxo de saída.**

<b>Flume:</b>	<b>Out flow</b>	<b>TL (cm):</b>	15 (cm)
<b>Data:</b>	15/05/2013	<b>ho (cm):</b>	5.6
<b>Tempo total (Seg):</b>	0	<b>a:</b>	0.1508
<b>Largura (m):</b>	0.7	<b>b:</b>	1.7358
<b>Comprimento (m):</b>	125		
<b>Lâminas de irrigação:</b>	-		

**Legenda:** no anexo (3-F), **a** e **b** são parâmetros de calibração; **ho** é a altura mínima da água no flume;

Tempo (min)	Tempo (seg)	Altura (cm)	hz (cm)	hv hv (cm)	Fluxo (l/s)	Volume (litros)	1.5	90	8.4	2.8	2.5	0.74	3.71
0.08	5	5.7	0.1	0.09	0	0.01	1.58	95	8.7	3.1	2.77	0.89	4.43
0.17	10	5.8	0.2	0.18	0.01	0.04	1.67	100	9	3.4	3.04	1.04	5.2
0.25	15	5.8	0.2	0.18	0.01	0.04	1.75	105	9.3	3.7	3.31	1.2	6.02
0.33	20	5.9	0.3	0.27	0.02	0.08	1.83	110	9.5	3.9	3.49	1.32	6.6
0.42	25	5.9	0.3	0.27	0.02	0.08	1.92	115	9.5	3.9	3.49	1.32	6.6
0.5	30	6.1	0.5	0.45	0.04	0.19	2	120	9.8	4.2	3.76	1.5	7.5
0.58	35	6.1	0.5	0.45	0.04	0.19	2.08	125	10	4.4	3.94	1.63	8.13
0.67	40	6.2	0.6	0.54	0.05	0.26	2.17	130	10.4	4.8	4.29	1.89	9.46
0.75	45	6.4	0.8	0.72	0.08	0.42	2.25	135	10.6	5	4.47	2.03	10.15
0.83	50	6.5	0.9	0.8	0.1	0.52	2.33	140	10.8	5.2	4.65	2.17	10.87
0.92	55	6.8	1.2	1.07	0.17	0.85	2.42	145	11.1	5.5	4.92	2.4	11.98
1	60	7	1.4	1.25	0.22	1.11	2.5	150	11.2	5.6	5.01	2.47	12.36
1.08	65	7.1	1.5	1.34	0.25	1.26	2.58	155	11.5	5.9	5.28	2.71	13.53
1.17	70	7.2	1.6	1.43	0.28	1.4	2.67	160	11.7	6.1	5.46	2.87	14.34
1.25	75	7.5	1.9	1.7	0.38	1.89	2.75	165	11.9	6.3	5.63	3.03	15.16
1.33	80	7.8	2.2	1.97	0.49	2.44	2.83	170	12.1	6.5	5.81	3.2	16.01
1.42	85	8.1	2.5	2.24	0.61	3.05	2.92	175	12.4	6.8	6.08	3.46	17.31
							3	180	12.7	7.1	6.35	3.73	18.66



3.08	185	13	7.4	6.62	4.01	20.05
3.17	190	13	7.4	6.62	4.01	20.05
3.25	195	13	7.4	6.62	4.01	20.05
3.33	200	13	7.4	6.62	4.01	20.05
3.42	205	12.8	7.2	6.44	3.82	19.12
3.5	210	12.5	6.9	6.17	3.55	17.76
3.67	220	11.7	6.1	5.46	2.87	28.67
3.83	230	11.5	5.9	5.28	2.71	27.06
4	240	11.3	5.7	5.1	2.55	25.49
4.17	250	10.9	5.3	4.74	2.25	22.46
4.33	260	10.5	4.9	4.38	1.96	19.6
4.5	270	10	4.4	3.94	1.63	16.26
4.67	280	9.7	4.1	3.67	1.44	14.39
4.83	290	9.4	3.8	3.4	1.26	12.61
5	300	8.9	3.3	2.95	0.99	9.87
5.17	310	8.2	2.6	2.33	0.65	6.53
5.33	320	7.7	2.1	1.88	0.45	4.5

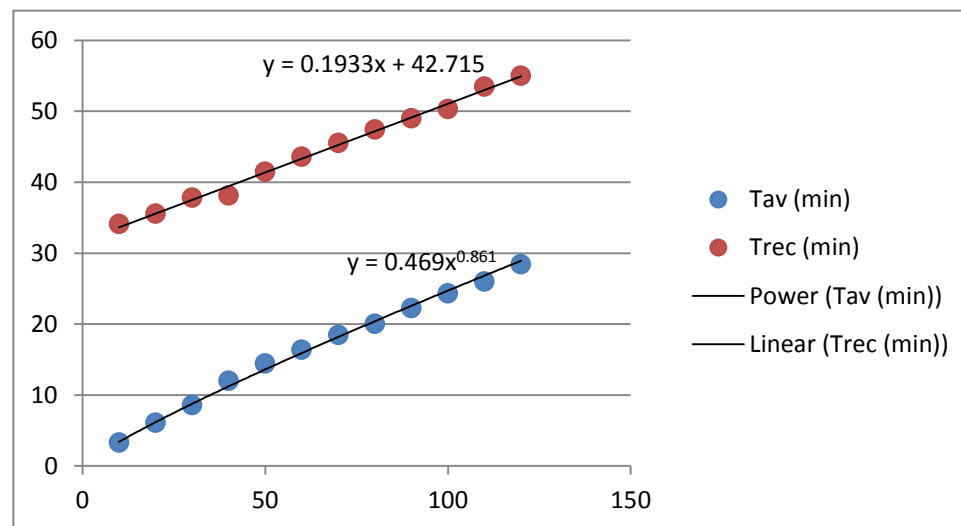
Volume máximo 516.33

**ANEXO (3-H): 2º Sulco - Calculo de volumes pelo método de Parshal Flume**

	<b>inflow</b>	<b>outflow</b>
<b>Volumes (m³)</b>	7955.4	516.3
<b>caudal (l/s)</b>	5.23	1.6
<b>Comprimento do cab. (m)</b>	120	-
<b>Tempo de aplicação (min)</b>	43	-

**ANEXO (3-I): 2º Sulco - Determinação da equação de do (P. de Av.) e de (P. de Reç.)**

<b>Dist (m)</b>	<b>Tav (min)</b>	<b>Trec (min)</b>
10	3.3	34.1
20	6.11	35.55
30	8.55	37.8
40	12	38.12
50	14.45	41.48
60	16.38	43.59
70	18.43	45.5
80	20.04	47.43
90	22.24	49
100	24.3	50.3
110	26	53.45
120	28.43	55.01



**Resumo das curvas**

<b>P. de Av.</b>	0.469
<b>r. de Av.</b>	0.861
<b>P. de rec.</b>	0.1933
<b>T. aplic</b>	42.715

**ANEXO (3-J): 2º Sulco - Determinação da dotação com base na equação da inf. acumulada**

$$I_{cum} = 20.556 * t^{0.4617}$$

<b>Distância (m)</b>	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Tempo avanço (min)</b>	3.3	6.11	8.55	12	14.45	16.38	18.43	20.04	22.24	24.3	26	28.43
<b>Tempo recessão (min)</b>	34.1	35.55	37.8	38.12	41.48	43.59	45.5	47.43	49	50.3	53.45	55.1
<b>Tempo oportunidade (min)</b>	30.8	29.44	29.25	26.12	27.03	27.21	27.07	27.39	26.76	26	27.45	26.67
<b>Dotação (cm)</b>	100.0	98.0	97.7	92.7	94.2	94.5	94.3	94.8	93.8	92.5	94.9	93.6
<b>Medias por cada 2 pontos (cm)</b>	99.0	97.8	95.2	93.5	94.3	94.4	94.5	94.3	93.1	93.7	94.2	
<b>Dotação média (mm)</b>						<b>95</b>						

**Anexo (4-A): 1º Sulco: Cálculo das eficiências de rega com base nos dados das medições de campo**

Adaptado para rega por sulcos  
Local: IIAM-Estação Agraria do Umbeluzi  
Comprimento dos Sulcos: 120 m  
Largura dos Sulcos: 70 cm

	(P. de Av)	(P. de rec)	d(mm)	(T. lag)	K
	0.4779	0.1889	96	5	20.556
(Delta X)	( r )		T nec (d)	T (cort)	n
10	0.8626	(para d)	28.16523	39	0.4617
		(T cort min)	39.00		

W (m)	L (m)
0.7	120
q(l/seg/sul)	
6.33	

**Legenda**

Dados a introduzir (ensaio)
Dados a introduzir (selecção)
Dados calculados

Ef. de aplic:	54.4	Ef. perc:	34.0
Ef. Storage:	100.0	Ef. runoff:	11.6
Ef. uniform:	94.0		

	(A) X (m)	(B) T. ava (min)	(C) T. rec (min)	(D) col C-col (min)	(E) D.T. oportun (min)	(F) (I acum.) (min)	(G) (I perc) (mm)	(H) (I real) (mm)	Desvio da média (absoluto)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	44.00	117.96	21.96	96.00	36.25
2	10.00	33.96	52.94	18.97	62.97	139.19	43.19	96.00	15.02
3	20.00	75.86	105.88	30.02	74.02	149.97	53.97	96.00	4.23
4	30.00	121.38	158.81	37.43	81.43	156.73	60.73	96.00	2.53
5	40.00	169.43	211.75	42.32	86.32	161.01	65.01	96.00	6.80
6	50.00	219.45	264.69	45.24	89.24	163.50	67.50	96.00	9.29
7	60.00	271.10	317.63	46.53	90.53	164.59	68.59	96.00	10.38
8	70.00	324.14	370.57	46.42	90.42	164.50	68.50	96.00	10.29
9	80.00	378.41	423.50	45.09	89.09	163.37	67.37	96.00	9.17
10	90.00	433.78	476.44	42.67	86.67	161.30	65.30	96.00	7.10
11	100.00	490.13	529.38	39.25	83.25	158.34	62.34	96.00	4.13
12	110.00	547.39	582.32	34.93	78.93	154.49	58.49	96.00	0.28
13	120.00	605.49	635.26	29.77	73.77	149.74	53.74	96.00	4.47

Minimo	Minimo
0.00	117.956
Maximo	Maximo
46.53	164.585
	Média
	154.206

**Cálculo das eficiências**

Volume aplicado =	14.8122	q · T(corte)
Volume necessário =	8.06	L · w · d(req)
Volume infiltrado =	13.10	SUM(Iacum) · w · L
Volume real =	8.06	SUM(Ireal) · w · L
Volume percolado =	5.03	SUM(Iperc) · w · L
Volume runoff =	1.72	(Vapl.-Vinf.)

Ef. aplic =	54.4	Vreal / Vaplicado
Ef. stor =	100.0	Vreal / Vnecessário
Ef. unif =	94.0	
Ef. perc =	34.0	Vpercolado / Vaplicado
Ef. runoff =	11.6	Vrunoff / Vaplicado

**Anexo (4-B): 1º Sulco: Cálculo das eficiências de rega com ajustamento do parâmetro “K” para calibração da eficiência runoff**

Adaptado para rega por sulcos											
Local: IIAM-Estação Agrária do Umbeluzi											
Comprimento dos Sulcos: 120 m											
Largura dos Sulcos: 70 cm											
	(P. de Av)	(P. de rec)	d(mm)	(T. lag)	K	W (m)	L (m)	Legenda			
	0.4779	0.1889	96	5	21.2	0.7	120	Dados a introduzir (ensaios)			
(Delta X)	( r )		T nec (d)	T (cort)	n	q(l/seg/sul)	Dados a introduzir (selecção)				
10	0.8626	(para d)	26.34487	39	0.4617	6.33	Dados calculados				
		(T cort min)	39.00								
Ef. de aplic:	54.4										
Ef. Storage:	100.0	Ef. perc:	36.7								
Ef. uniform:	94.0	Ef. runoff:	8.8								
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	Desvio	Cálculo das eficiências		
X	T. ava	T. rec	col C-col D	T. oportun	( l acum.)	( l perc)	( l real)	da média	Volume aplicado =	14.8122	q · T(corte)
(m)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(mm)	(mm)	(absoluto)	Volume necessário =	8.06	L · w · d(req)
1	0.00	0.00	0.00	44.00	121.65	25.65	96.00	37.39	Volume infiltrado =	13.51	SUM(lacum) · w · L
2	10.00	33.96	52.94	62.97	143.55	47.55	96.00	15.49	Volume real =	8.06	SUM(lreal) · w · L
3	20.00	75.86	105.88	74.02	154.67	58.67	96.00	4.37	Volume percolado =	5.44	SUM(lperc) · w · L
4	30.00	121.38	158.81	81.43	161.64	65.64	96.00	2.61	Volume runoff =	1.31	(Vapl.-Vinf.)
5	40.00	169.43	211.75	86.32	166.05	70.05	96.00	7.02	Ef. aplic =	54.4	Vreal / Vaplicado
6	50.00	219.45	264.69	89.24	168.62	72.62	96.00	9.58	Ef. stor =	100.0	Vreal / Vnecessário
7	60.00	271.10	317.63	90.53	169.74	73.74	96.00	10.70	Ef. unif =	94.0	
8	70.00	324.14	370.57	90.42	169.65	73.65	96.00	10.61	Ef. perc =	36.7	Vpercolado / Vaplicado
9	80.00	378.41	423.50	89.09	168.49	72.49	96.00	9.45	Ef. runoff =	8.8	Vrunoff / Vaplicado
10	90.00	433.78	476.44	86.67	166.36	70.36	96.00	7.32			
11	100.00	490.13	529.38	83.25	163.30	67.30	96.00	4.26			
12	110.00	547.39	582.32	78.93	159.33	63.33	96.00	0.29			
13	120.00	605.49	635.26	73.77	154.43	58.43	96.00	4.61			
			Minimo		Minimo						
			0.00		121.652						
			Maximo		Maximo						
			46.53		169.742						
					Mé dia						
					159.037						

**Anexo (4-C): 2º Sulco: Cálculo das eficiências de rega com base nos dados das medições de campo**

Adaptado para rega por sulcos  
Local: IIAM-Estação Agraria do Umbeluzi  
Comprimento dos Sulcos: 120 m  
Largura dos Sulcos: 70 cm

	(P. de Av)	(P. de rec)	d(mm)	(T. lag)	K	W (m)	L (m)
	0.469	0.1933	94	5	20.556	0.7	120
(Delta X)	( r )		T nec (d)	T (cort)	n	q(l/seg/sul)	
10	0.861	(para d)	26.90974	43	0.4617	5.23	
		(T cort min)	27.38				

Ef. de aplic:	58.5	Ef. perc:	31.2
Ef. Storage:	100.0	Ef. runoff:	10.3
Ef. uniform:	92.3		

Legenda	
Dados a introduzir (ensaios)	
Dados a introduzir (selecção)	
Dados calculados	

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	Desvio
	X	T. ava	T. rec	col C-col	D.T. oportun	(I acum.)	(I perc)	(I real)	da média
	(m)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(mm)	(mm)	(absoluto)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	48.00	122.79	28.79	94.00	19.40
2	10.00	34.94	51.73	16.79	64.79	141.03	47.03	94.00	1.16
3	20.00	78.16	103.47	25.31	73.31	149.31	55.31	94.00	7.12
4	30.00	125.17	155.20	30.03	78.03	153.67	59.67	94.00	11.48
5	40.00	174.83	206.93	32.10	80.10	155.55	61.55	94.00	13.36
6	50.00	226.55	258.67	32.11	80.11	155.55	61.55	94.00	13.37
7	60.00	279.98	310.40	30.42	78.42	154.02	60.02	94.00	11.83
8	70.00	334.88	362.13	27.26	75.26	151.12	57.12	94.00	8.94
9	80.00	391.06	413.86	22.81	70.81	146.93	52.93	94.00	4.75
10	90.00	448.38	465.60	17.21	65.21	141.46	47.46	94.00	0.73
11	100.00	506.75	517.33	10.58	58.58	134.62	40.62	94.00	7.57
12	110.00	566.07	569.06	3.00	51.00	126.27	32.27	94.00	15.92
13	120.00	626.26	620.80	-5.47	42.53	116.12	22.12	94.00	26.07

Minimo	Minimo
-5.47	116.123
Maximo	Maximo
32.11	155.555
	Mé dia
	142.189

**Cálculo das eficiências**

Volume aplicado =	13.4934	q · T(corte)
Volume necessário =	7.90	L · w · d(req)
Volume infiltrado =	12.10	SUM(Iacum) · w · L
Volume real =	7.90	SUM(Ireal) · w · L
Volume percolado =	4.21	SUM(Iperc) · w · L
Volume runoff =	1.39	(Vapl.-Vinf.)

Ef. aplic =	58.5	Vreal / Vaplicado
Ef. stor =	100.0	Vreal / Vnecessário
Ef. unif =	92.3	
Ef. perc =	31.2	Vpercolado / Vaplicado
Ef. runoff =	10.3	Vrunoff / Vaplicado

**Anexo (4-D): 2º Sulco: Cálculo das eficiências de rega com ajustamento do parâmetro “K” para calibração da eficiência runoff**

Adaptado para rega por sulcos  
Local: IIAM-Estação Agraria do Umbeluzi  
Comprimento dos Sulcos: 120 m  
Largura dos Sulcos: 70 cm

	(P. de Av)	(P. de rec)	d(mm)	(T. lag)	K	W (m)	L (m)
	0.469	0.1933	94	5	21.399	0.7	120
(Delta X)	( r )		T nec (d)	T (cort)	n	q(l/seg/sul)	
10	0.861	(para d)	24.66629	43	0.4617	5.23	
		(T cort min)	25.13				

Ef. de aplic:	58.5	Ef. perc:	34.9
Ef. Storage:	100.0	Ef. runoff:	6.6
Ef. uniform:	92.3		

Legenda	
Dados a introduzir (ensaios)	
Dados a introduzir (selecção)	
Dados calculados	

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	Desvio da média (absoluto)
	X (m)	T. ava (min)	T. rec (min)	col C-col D (min)	T. oportun (min)	(I acum.) (min)	(I perc) (mm)	(I real) (mm)	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	48.00	127.83	33.83	94.00	20.19
2	10.00	34.94	51.73	16.79	64.79	146.81	52.81	94.00	1.21
3	20.00	78.16	103.47	25.31	73.31	155.43	61.43	94.00	7.41
4	30.00	125.17	155.20	30.03	78.03	159.97	65.97	94.00	11.95
5	40.00	174.83	206.93	32.10	80.10	161.92	67.92	94.00	13.90
6	50.00	226.55	258.67	32.11	80.11	161.93	67.93	94.00	13.91
7	60.00	279.98	310.40	30.42	78.42	160.34	66.34	94.00	12.32
8	70.00	334.88	362.13	27.26	75.26	157.32	63.32	94.00	9.30
9	80.00	391.06	413.86	22.81	70.81	152.96	58.96	94.00	4.94
10	90.00	448.38	465.60	17.21	65.21	147.26	53.26	94.00	0.76
11	100.00	506.75	517.33	10.58	58.58	140.14	46.14	94.00	7.88
12	110.00	566.07	569.06	3.00	51.00	131.45	37.45	94.00	16.57
13	120.00	626.26	620.80	-5.47	42.53	120.89	26.89	94.00	27.13

Minimo	Minimo
-5.47	120.885
Maximo	Maximo
32.11	161.934
	Média
	148.02

**Cálculo das eficiências**

Volume aplicado =	13.4934	q · T(corte)
Volume necessário =	7.90	L · w · d(req)
Volume infiltrado =	12.60	SUM(Iacum) · w · L
Volume real =	7.90	SUM(Ireal) · w · L
Volume percolado =	4.70	SUM(Iperc) · w · L
Volume runoff =	0.89	(Vapl.-Vinf.)

Ef. aplic =	58.5	Vreal / Vaplicado
Ef. stor =	100.0	Vreal / Vnecessário
Ef. unif =	92.3	
Ef. perc =	34.9	Vpercolado / Vaplicado
Ef. runoff =	6.6	Vrunoff / Vaplicado

**Anexo (4-E): 1º Sulco. Optimização das eficiências de rega com o mesmo caudal ( $q = 6.33$  l/s)**

Adaptado para rega por sulcos  
Local: IAM-Estação Agraria do Umbeluzi  
Comprimento dos Sulcos: 120 m  
Largura dos Sulcos: 70 cm

	(P. de Av)	(P. de rec)	d(mm)	(T. lag)	K
	0.4779	0.1889	96	5	21.2
(Delta X)	( r )		T nec (d)	T (cort)	n
9.59	0.8626	(para d)	26.34487	33	0.4617
		(T cort min)	33.00		

W (m)	L (m)
0.7	115
q(l/seg/sul)	
6.33	

Legenda	
Dados a introduzir (ensaios)	
Dados a introduzir (selecção)	
Dados calculados	

Ef. de aplic:	61.7	Ef. perc:	38.1
Ef. Storage:	100.1	Ef. runoff:	0.2
Ef. uniform:	93.5		

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	Desvio da média (absoluto)
	X (m)	T. ava (min)	T. rec (min)	col C-col D (min)	T. oportun (min)	(I acum.) (min)	(I perc) (mm)	(I real) (mm)	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	38.00	113.69	17.69	96.00	39.89
2	9.59	32.36	50.77	18.41	56.41	136.44	40.44	96.00	17.14
3	19.18	72.27	101.54	29.27	67.27	147.99	51.99	96.00	5.59
4	28.77	115.63	152.30	36.67	74.67	155.30	59.30	96.00	1.72
5	38.36	161.40	203.07	41.67	79.67	160.01	64.01	96.00	6.43
6	47.95	209.05	253.84	44.79	82.79	162.88	66.88	96.00	9.29
7	57.54	258.25	304.61	46.35	84.35	164.29	68.29	96.00	10.71
8	67.13	308.79	355.37	46.59	84.59	164.50	68.50	96.00	10.92
9	76.72	360.49	406.14	45.66	83.66	163.66	67.66	96.00	10.08
10	86.31	413.23	456.91	43.68	81.68	161.87	65.87	96.00	8.29
11	95.90	466.91	507.68	40.76	78.76	159.17	63.17	96.00	5.59
12	105.49	521.46	558.44	36.98	74.98	155.60	59.60	96.00	2.02
13	115.08	576.80	609.21	32.41	70.41	151.14	55.14	96.00	2.44

Minimo	Minimo
0.00	113.69
Maximo	Maximo
46.59	164.502
	Mé dia
	153.581

**Cálculo das eficiências**

Volume aplicado =	12.5334	$q \cdot T(\text{corte})$
Volume necessário =	7.73	$L \cdot w \cdot d(\text{req})$
Volume infiltrado =	12.51	$\text{SUM}(I_{\text{acum}}) \cdot w \cdot L$
Volume real =	7.73	$\text{SUM}(I_{\text{real}}) \cdot w \cdot L$
Volume percolado =	4.78	$\text{SUM}(I_{\text{perc}}) \cdot w \cdot L$
Volume runoff =	0.02	$(V_{\text{apl.}} - V_{\text{inf.}})$

Ef. aplic =	61.7	$V_{\text{real}} / V_{\text{aplicado}}$
Ef. stor =	100.1	$V_{\text{real}} / V_{\text{necessário}}$
Ef. unif =	93.5	
Ef. perc =	38.1	$V_{\text{percolado}} / V_{\text{aplicado}}$
Ef. runoff =	0.2	$V_{\text{runoff}} / V_{\text{aplicado}}$



**Anexo (4-F): 2º sulco. Optimização das eficiências de rega com o mesmo caudal (q = 5.23 l/s)**

Adaptado para rega por sulcos  
Local: IIAM-Estação Agraria do Umbeluzi  
Comprimento dos Sulcos: 120 m  
Largura dos Sulcos: 70 cm

	(P. de Av)	(P. de rec)	d(mm)	(T. lag)	K
	0.469	0.1933	94	5	21.399
(Delta X)	( r )	(para d)	T nec (d)	T (cort)	n
8.4	0.861	(T cort min)	24.66629	34	0.4617
			34.00		

Ef. de aplic:	62.2	Ef. perc:	33.4
Ef. Storage:	100.8	Ef. runoff:	4.4
Ef. uniform:	93.9		

W (m)	L (m)
0.7	100
q(l/seg/sul)	
5.23	

Legenda	
Dados a introduzir (ensaio)	
Dados a introduzir (selecção)	
Dados calculados	

	(A) X (m)	(B) T. ava (min)	(C) T. rec (min)	(D) col C-col D (min)	(E) T. oportun (min)	(F) (I acum.) (min)	(G) (I perc) (mm)	(H) (I real) (mm)	Desvio da média (absoluto)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	39.00	116.14	22.14	94.00	26.66
2	8.40	28.54	43.46	14.92	53.92	134.88	40.88	94.00	7.92
3	16.80	63.83	86.91	23.08	62.08	143.95	49.95	94.00	1.15
4	25.20	102.22	130.37	28.14	67.14	149.25	55.25	94.00	6.45
5	33.60	142.78	173.82	31.04	70.04	152.20	58.20	94.00	9.39
6	42.00	185.02	217.28	32.26	71.26	153.41	59.41	94.00	10.61
7	50.40	228.66	260.73	32.08	71.08	153.23	59.23	94.00	10.43
8	58.80	273.49	304.19	30.70	69.70	151.85	57.85	94.00	9.05
9	67.20	319.37	347.65	28.28	67.28	149.39	55.39	94.00	6.59
10	75.60	366.19	391.10	24.91	63.91	145.89	51.89	94.00	3.09
11	84.00	413.86	434.56	20.70	59.70	141.37	47.37	94.00	1.43
12	92.40	462.30	478.01	15.71	54.71	135.79	41.79	94.00	7.01
13	100.80	511.46	521.47	10.01	49.01	129.06	35.06	94.00	13.74

Minimo	Minimo
0.00	116.142
Maximo	Maximo
32.26	153.408
	Mé dia
	142.801

Cálculo das eficiências		
Volume aplicado =	10.6692	q · T(corte)
Volume necessário =	6.58	L · w · d(req)
Volume infiltrado =	10.19	SUM(Iacum) · w · L
Volume real =	6.63	SUM(Ireal) · w · L
Volume percolado =	3.56	SUM(Iperc) · w · L
Volume runoff =	0.47	(Vapl.-Vinf.)
Ef. aplic =	62.2	Vreal / Vaplicado
Ef. stor =	100.8	Vreal / Vnecessário
Ef. unif =	93.9	
Ef. perc =	33.4	Vpercolado / Vaplicado
Ef. runoff =	4.4	Vrunoff / Vaplicado

**Anexo (5-A):** Software NRCS-Surface “Controles de entrada” Caudal unitário e tempo de corte ( dados de medição do 1º sulco)

**Inflow Controls** | Field Topography/Geometry | Infiltration Characteristics | Hydrograph Inputs | Design Panel

**Simulation Shutoff Control**

By Elapsed Time or No. of Surges  
 By Target Application, zreq

**Inflow Regime**

Continuous Flow  
 Continuous Flow w/ Cutback  
 Continuous Inflow Hydrograph  
 Fixed-Cycle Surge Flow  
 Fixed-Cycle Surge Flow w/ Cutback  
 Variable-Cycle Surge Flow  
 Variable-Cycle Surge Flow w/ Cutback

**Simulation Shutoff Control**

By Elapsed Time or No. of Surges  
 By Target Application, zreq

**Run Parameters**

Simulated Unit Inflow, Ips   
 Time of Cutoff, mn   
 Dtm, mn   
 No of Surges   
 On-Time, mn   
 Cutback Ratio   
 CB Length Fraction   
 Surge Adj Ratio   
 Surge Adj Time, mn

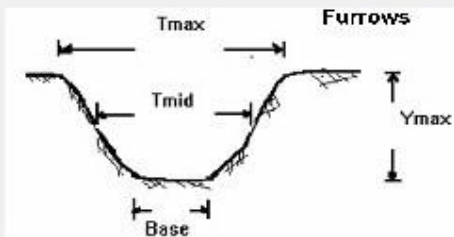
**Special Numerical Coefficients**

Phi   
 Theta   
 LF

**Simulation Speed**

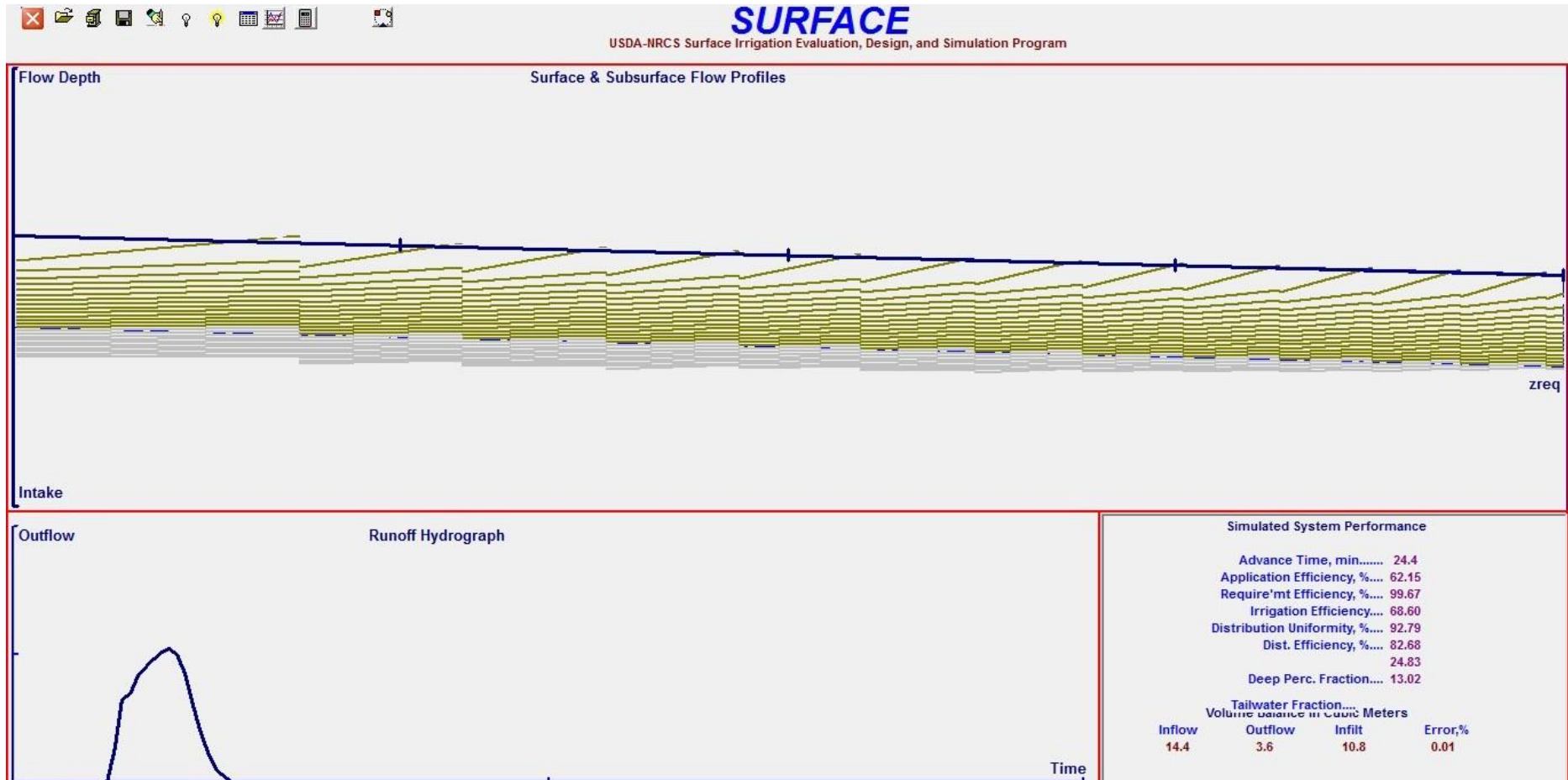
**Graphic Profile Slope**

**Anexo (5-B):** Software NRCS-Surface “Geometria e topografia do campo” ( dados de medição do 1º sulco)

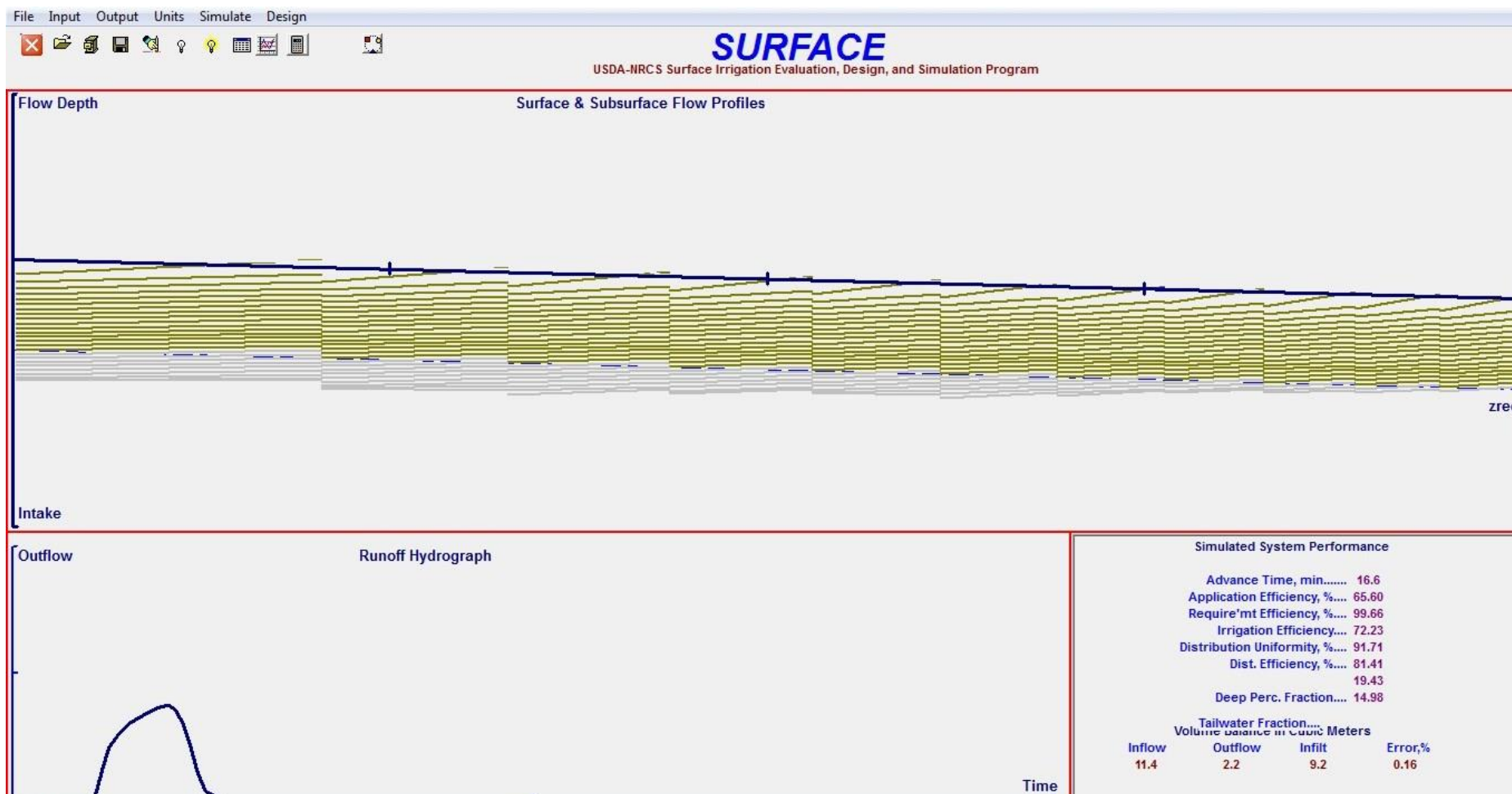
Inflow Controls	Field Topography/Geometry	Infiltration Characteristics	Hydrograph Inputs	Design Panel
<p><b>Field Geometry</b></p> <p>Field Length, m: 120.0</p> <p>Field Width, m: 120.0</p> <p>Field CrossSlope: 0.00000</p>		<p><b>Flow Cross-Section</b></p> <p>Top Width (m): 0.700</p> <p>Middle Width (m): 0.450</p> <p>Bottom Width (m): 0.250</p> <p>Maximum Depth (m): 0.350</p>		
<p><b>Field System</b></p> <p>Border/Basin Unit</p> <p>Width (m) or Row Spacing, m: 0.75</p> <p>Downstream Boundary: <input checked="" type="checkbox"/> Free Draining, <input type="checkbox"/> Blocked End</p>		<p><b>Furrows</b></p> 		
<p><b>Manning - n Values</b></p> <p>First Irrigations: 0.040</p> <p>Later Irrigations: 0.030</p>		<p><b>Manning Equation Calculator</b></p> <p>Slope: 0.00030</p> <p>Manning n: 0.0800</p> <p>Flow, lps: 6.3297</p> <p>Depth, m: 0.2753</p> <p>Area, m<sup>2</sup>: 0.1156</p> <p>Top Width, m: 0.6007</p> <p>Wetted Perimeter, m: 0.9091</p>		
<p><b>Compound Slopes</b></p> <p>First Slope: 0.00030</p> <p>Second Slope: 0.00030</p> <p>Third Slope: 0.00030</p> <p>First Distance, m: 120.0</p> <p>Second Distance, m: 120.0</p> <p>The "First Distance" is the distance from field inlet to the break in slope between "First Slope" and "Second Slope". Similarly for the "Second Distance".</p>		<p>Rho1: 0.2540</p> <p>Rho2: 2.6392</p> <p>Sigma1: 0.7054</p> <p>Sigma2: 1.4021</p> <p>Gamma1: 2.3309</p> <p>Gamma2: 0.7299</p> <p>Cmh: 0.6374</p> <p>Cch: 1.3669</p>		



**Anexo (5-D): Software NRCS-Surface-Simulação das eficiências de rega referentes ao primeiro sulco**



**Anexo (5-E): Software NRCS-Surface-** Otimização das eficiências de rega referentes ao primeiro sulco (Comprimento do sulco = 100 m; Tempo de corte = 30 min;)



**Anexo (5-F):** *Software* NRCS-Surface “Controles de entrada” Caudal unitário e tempo de corte ( dados de medição do 2º sulco)

**Inflow Controls** | Field Topography/Geometry | Infiltration Characteristics | Hydrograph Inputs | Design Panel

**Simulation Shutoff Control**

By Elapsed Time or No. of Surges  
 By Target Application, zreq

**Inflow Regime**

Continuous Flow  
 Continuous Flow w/ Cutback  
 Continuous Inflow Hydrograph  
 Fixed-Cycle Surge Flow  
 Fixed-Cycle Surge Flow w/ Cutback  
 Variable-Cycle Surge Flow  
 Variable-Cycle Surge Flow w/ Cutback

**Simulation Shutoff Control**

By Elapsed Time or No. of Surges  
 By Target Application, zreq

**Run Parameters**

Simulated Unit Inflow, Ips	5.230
Time of Cutoff, mn	43.0
Dtm, mn	2.0
No of Surges	1
On-Time, mn	30.0
Cutback Ratio	1.00
CB Length Fraction	1.0
Surge Adj Ratio	1.00
Surge Adj Time, mn	0.00

**Special Numerical Coefficients**

Phi	0.600
Theta	0.600
LF	0.10

**Simulation Speed**

**Graphic Profile Slope**

**Anexo (5-G):** Software NRCS-Surface “Geometria e topografia do campo” ( dados de medição do 2º sulco)

**Inflow Controls** | **Field Topography/Geometry** | Infiltration Characteristics | Hydrograph Inputs | Design Panel

**Field Geometry**

Field Length, m: 120.0

Field Width, m: 120.0

Field CrossSlope: 0.00000

**Flow Cross-Section**

Top Width (m): 0.700

Middle Width (m): 0.450

Bottom Width (m): 0.250

Maximum Depth (m): 0.350

**Field System**

Border/Basin Irrigation

Furrow Irrigation

**Border/Basin Unit**

Width (m) or Row Spacing, m: 0.75

Downstream Boundary:  Free Draining,  Blocked End

**Manning - n Values**

First Irrigations: 0.040

Later Irrigations: 0.030

**Compound Slopes**

First Slope: 0.00030

Second Slope: 0.00030

Third Slope: 0.00030

First Distance, m: 120.0

Second Distance, m: 120.0

**Manning Equation Calculator**

Slope: 0.00030

Manning n: 0.0800

Flow, lps: 5.2292

Depth, m: 0.2483

Area, m<sup>2</sup>: 0.1000

Top Width, m: 0.5624

Wetted Perimeter, m: 0.8431

**Rho1**: 0.2540

**Rho2**: 2.6392

**Sigma1**: 0.7054

**Sigma2**: 1.4021

**Gamma1**: 2.3309

**Gamma2**: 0.7299

**Cmh**: 0.6374

**Cch**: 1.3669

**Furrows**

The diagram shows a cross-section of a furrow. T<sub>max</sub> is the top width, T<sub>mid</sub> is the middle width, Base is the bottom width, and Y<sub>max</sub> is the maximum depth.

The "First Distance" is the distance from field inlet to the break in slope between "First Slope" and "Second Slope". Similarly for the "Second Distance."



Anexo (5-H): Anexo (5-C): Software NRCS-Surface “Características de infiltração” ( dados de medição do 2º sulco)

Inflow Controls | Field Topography/Geometry | **Infiltration Characteristics** | Hydrograph Inputs | Design Panel

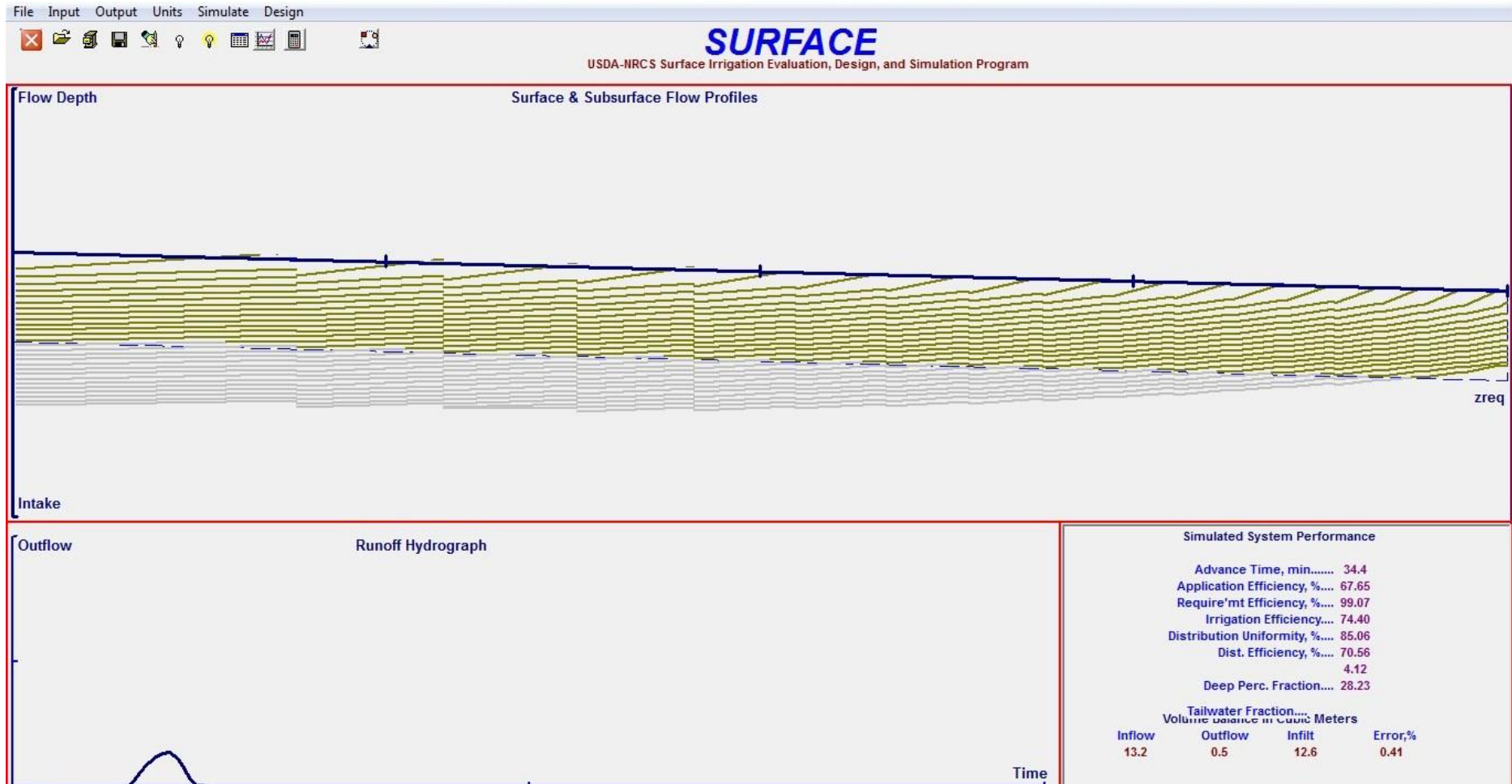
$$Z_{req} = K\tau_{req}^a + F_o\tau_{req} + C'$$

	Initial Continuous Flow Conditions	Later Continuous Flow Conditions	Initial Surge Flow Conditions	Later Surge Flow Conditions	Two-Point
<b>a</b>	0.462	0.000	0.259	0.000	TL, min
<b>K, ft<sup>3</sup>/ft/mn<sup>a</sup></b>	0.00540	0.00000	0.00359	0.00000	0.0
<b>Eo, ft<sup>3</sup>/ft/mn</b>	0.001000	0.000000	0.000150	0.000000	T.5L, min
<b>C, ft<sup>3</sup>/ft</b>	0.00000	0.00000			0.0
<b>Qinfil, lps</b>	2.000	2.000			.5L, m
	Tables	Tables	Tables	Tables	
<b>Simulate</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Root Zone Soil Moisture Depletion, zreq, meters</b>					
	0.100	0.000	0.100	0.000	
<b>Required Intake Opportunity Time, min</b>					
	27	0	243	0	

**Units of Measure**  
 English, cfs  
 English, gpm  
 Metric

**Surface Irrigation Configuration**  
 Border/Basin Irrigation  
 Furrow Irrigation

**Anexo (5-I): Anexo (5-D): Software NRCS-Surface-Simulação das eficiências de rega referentes ao segundo sulco**



**Anexo (5-J): Software NRCS-Surface-** Otimização das eficiências de rega referentes ao primeiro sulco (Comprimento do sulco = 100 m; Tempo de corte = 36 min)

