



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



## **DISSERTAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DRENANTES ALTERNATIVOS NA  
DRENAGEM SUBTERRÂNEA**

**FLORÍCIO PINTO DE ALMEIDA**

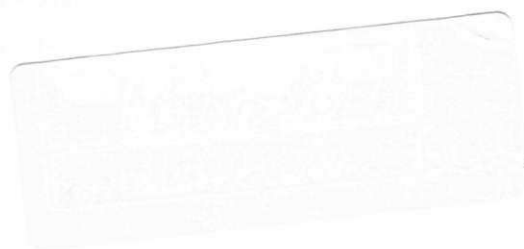
**Campina Grande - Paraíba**  
**Março - 2001**

FLORÍCIO PINTO DE ALMEIDA

Engenheiro Agrônomo

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DRENANTES ALTERNATIVOS NA DRENAGEM  
SUBTERRÂNEA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Irrigação e Drenagem, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências do Curso para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.



**CAMPINA GRANDE**

Estado da Paraíba

Março - 2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COFEAC - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

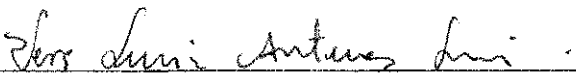
## PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

### FLORÍCIO PINTO DE ALMEIDA

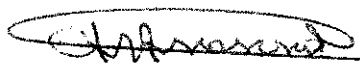
Título: "Avaliação de Sistemas Drenantes Alternativos na Drenagem Subterrânea".

BANCA EXAMINADORA

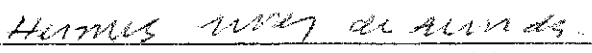
PARECER

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Vera Lúcia A. de Lima-Orientadora

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Carlos Alberto V. de Azevedo-Orientador

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida-Examinador

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Dantas Neto-Examinador

APROVADO

MARÇO - 2001

Aos meus pais **Carlindo Carlos de Almeida e**  
**Joana Pinto de Almeida,**

MINHA HOMENAGEM

À minha esposa **Sônia Maria**  
e às filhas **Felissa e Larissa,**  
DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da sabedoria.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – Campus II (Área de Concentração Irrigação e Drenagem), pela transmissão dos valiosos conhecimentos durante a realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia – CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Dr. Hermes Alves de Almeida pelas valiosas contribuições dadas a esta pesquisa.

Ao Prof. Raimundo Leidimar Bezerra, Coordenador do Laboratório de Mecânica dos Solos, pela realização de análises de alguns parâmetros desta pesquisa.

À Ativo Engenharia e Comércio Ltda e À Geossintéticos Comercial Ltda pela doação de materiais de estudo.

Ao Dr. Aldo Vilar Trindade, Microbiologista do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, que me despertou para a iniciação científica.

Ao amigo Décio Alonso Aran pelo apoio e incentivos.

A Karina de Sousa Andrade, graduanda de Engenharia Agrícola, Estagiária desta pesquisa.

Aos colegas de curso, em especial Antônio Varela, Aristóteles, Carlos Alberto, Carlos Henrique, Celso, Delfran, Ermano, José Maria, Lovânia, Marcos, Nildo, Paulo César, Sérgio pelo proveitoso convívio e amizade.

Aos funcionários dos Laboratórios de Engenharia Civil, Irrigação e Salinidade e de Irrigação e Drenagem pela ajuda valiosa nas análises efetivadas.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>XII</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1.0 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.0 – REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	17
2.2 - BENEFÍCIOS DA DRENAGEM.....	21
2.3 - MATERIAIS USADOS NA DRENAGEM .....	22
2.3.1 - Tubos.....	22
2.3.2 - Envoltórios.....	24
2.3.2.1 - Avaliação da Necessidade de Envoltório .....	27
2.3.2.2 - Escolha do Envoltório.....	29
2.4 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA ( $K_0$ ) .....	29
2.5 - POROSIDADE DRENÁVEL ( $\mu$ ).....	31
2.6 - RESISTÊNCIA DE ENTRADA DA ÁGUA NOS TUBOS DE DRENAGEM.....	32
<b>3.0 - MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
3.1 - MODELO FÍSICO.....	37
3.2 - MEIO POROSO.....	38
3.3 - SISTEMAS DRENANTES.....	39
3.4 - TRATAMENTOS .....	40
3.5 - VARIÁVEIS AVALIADAS.....	41
3.5.1 - Carga Hidráulica de Entrada ( $h_e$ ) e Carga Hidráulica Total ( $h_{tot}$ ) .....	41
3.5.2 - Razão entre as Cargas Hidráulicas de Entrada e Total ( $h_e/h_{tot}$ ).....	42
3.5.3 - Fluxo ( $q$ ).....	42
3.5.4 - Resistência de Entrada ( $re$ ).....	43
3.5.5 - Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Drenagem.....	43
3.5.6 - Fator de Resistência de Entrada ( $\alpha$ ).....	44
3.6 - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	44
<b>4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
4.1 – VARIÁVEIS AVALIADAS.....	45
4.1.1 - Carga Hidráulica de Entrada ( $h_e$ ).....	45
4.1.2 - Razão entre as Cargas Hidráulicas de Entrada e Total ( $h_e/h_{tot}$ ).....	47
4.1.3 - Resistência de Entrada ( $re$ ).....	47
4.1.4 - Fluxo ( $q$ ).....	51
4.1.5 - Fator de Resistência de Entrada ( $\alpha$ ).....	55
<b>5.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>57</b>
<b>6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>58</b>
<b>7.0 - ANEXOS</b> .....	<b>67</b>

**LISTA DE SÍMBOLOS**

*ABNT* – Associação Brasileira de Normas Técnicas

° C - graus Celsius

*dg* - densidade global, em  $\text{g.cm}^{-3}$

*dr* - densidade real, em  $\text{g.cm}^{-3}$

*EMBRAPA* – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

*he* - carga hidráulica de entrada, em m

*htot* - carga hidráulica total, em m

*he/htot* – razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, adimensional

*K* - condutividade hidráulica do meio poroso, em  $\text{m.dia}^{-1}$

*K<sub>θ</sub>* - condutividade hidráulica saturada, em  $\text{m.dia}^{-1}$

*l* - litro

*L* – espaçamento entre os drenos, em m

*P* - quantidade de água percolada, em mm

PEAD - polietileno de alta densidade

PP - polipropileno

PVC - policloreto de vinil

*q* - fluxo, em  $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}.\text{m}^{-1}$

*Q* – vazão, em  $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$

R1, R2, R3 – Repetição 1, Repetição 2 e Repetição 3

RAS - relação de adsorção de sódio, em  $(\text{mmol.L}^{-1})^{0,5}$

*re* - resistência de entrada, em  $\text{dia.m}^{-1}$

*s* - tempo, em s

T1, T2, ... T9 – Tratamento 1, Tratamento 2, ... Tratamento 9, respectivamente

V - volume drenado, em  $m^3$

$\alpha$  - fator de resistência de entrada, adimensional

$\mu$  - porosidade drenável, adimensional

$\Delta H$  - variação do lençol freático, em mm

$\theta_{cc}$  - umidade volumétrica à capacidade de campo, em  $cm^3 \cdot cm^{-3}$



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de bidim
- Figura 2 - Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de brita zero
- Figura 3 - Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de espuma
- Figura 4 - Curvas de fluxo em relação ao tempo para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de bidim
- Figura 5 - Curvas de fluxo em relação ao tempo para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de brita zero
- Figura 6 - Curvas de fluxo em relação ao tempo para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de espuma

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) (van Someren & Naarding, 1965)
- Tabela 2 - Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) e da resistência de entrada ( $r_e$ ) (Dieleman & Trafford, 1976)
- Tabela 3 - Desempenho de um sistema de drenagem em função da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ) (Dieleman & Trafford, 1976).
- Tabela 4 - Resistência de entrada ( $r_e$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) como critério de desempenho de drenos (Wesseling & van Someren, 1972)
- Tabela 5 - Limites para os valores do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) (Smedema & Rycroft, 1983)
- Tabela 6 - Características físico-hídricas do material poroso utilizado
- Tabela 7 - Características dos materiais drenantes utilizados
- Tabela 8 - Distribuição dos tratamentos nos tanques
- Tabela 9 - Resumo da ANOVA das variáveis carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ), resistência de entrada ( $r_e$ ) e fluxo ( $q$ )
- Tabela 10 - Valores médios da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ), em m, em relação aos materiais drenantes *versus* materiais envoltórios
- Tabela 11 - Valores médios da resistência de entrada ( $r_e$ ), em  $\text{dia}\cdot\text{m}^{-1}$ , em relação aos materiais drenantes *versus* materiais envoltórios
- Tabela 12 - Resistência de entrada ( $r_e$ ) de tubos lisos com diferentes envoltórios (Wesseling & van Someren, 1972)
- Tabela 13 - Valores médios do fluxo ( $q$ ), em  $\text{m}^3\cdot\text{dia}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ , em relação aos materiais drenantes *versus* materiais envoltórios
- Tabela 14 - Fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) dos tratamentos

## ANEXOS

- Anexo 1A - Ilustração do modelo físico – vista frontal
- Anexo 1B - Ilustração do modelo físico – vistas superior e lateral
- Anexo 2 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com bidim R1
- Anexo 3 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com bidim R2
- Anexo 4 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com bidim R3
- Anexo 5 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com bidim R1
- Anexo 6 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com bidim R2
- Anexo 7 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com bidim R3
- Anexo 8 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com bidim R1
- Anexo 9 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com bidim R2
- Anexo 10 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com bidim R3
- Anexo 11 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com brita zero R1
- Anexo 12 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com brita zero R2
- Anexo 13 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com brita zero R3
- Anexo 14 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com brita zero R1
- Anexo 15 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com brita zero R2
- Anexo 16 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com brita zero R3
- Anexo 17 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com brita zero R1
- Anexo 18 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com brita zero R2
- Anexo 19 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com brita zero R3
- Anexo 20 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com espuma R1
- Anexo 21 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com espuma R2
- Anexo 22 - Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com espuma R3
- Anexo 23 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com espuma R1
- Anexo 24 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com espuma R2
- Anexo 25 - Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com espuma R3
- Anexo 26 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com espuma R1
- Anexo 27 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com espuma R2
- Anexo 28 - Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com espuma R3

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho hidráulico de diferentes sistemas de drenagem subterrânea sob condições controladas de laboratório, usando-se um modelo físico horizontal de tanque de areia. Os sistemas drenantes foram compostos pelos seguintes materiais: tubo de PVC liso próprio para esgoto, com diâmetro nominal de 50,0 mm e área aberta de  $23,0 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ; tubo de PVC corrugado flexível Drenoflex, com diâmetro nominal de 65,0 mm e área aberta de  $23,0 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ; tubo Kananet de polietileno de alta densidade corrugado e flexível da Kanaflex, com diâmetro nominal de 75,0 mm e área aberta de  $110,0 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ; e os envoltórios constituídos de manta sintética de poliéster bidim OP-20, brita zero e a manta sintética de poliuretano espuma com 5,0 mm de espessura. O arranjo estatístico utilizado foi do tipo fatorial, em que os nove tratamentos com três repetições cada envolveram todas as combinações entre tubo drenante e envoltório. A avaliação do desempenho dos sistemas drenantes baseou-se em parâmetros típicos de avaliação propostos na literatura. Com referência à carga hidráulica de entrada, todos os materiais drenantes foram classificados como regular. Considerando a razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Em relação à resistência de entrada, constatou-se que houve diferença significativa para todos os sistemas drenantes. O tubo de PVC liso apresentou maior resistência de entrada com o envoltório de espuma. Constatou-se também que entre os sistemas avaliados, os menores valores da resistência de entrada foram obtidos com o uso do envoltório de brita zero, seguido do envoltório de espuma nos tubos convencionais. Todos os sistemas drenantes foram classificados como bons a muito bons. Quanto ao fluxo, constatou-se que todos os materiais drenantes com os envoltórios de bidim e de brita zero não apresentaram diferença. Os materiais drenantes convencionais Drenoflex e Kananet não diferiram com o uso do envoltório de espuma. Para todos os sistemas drenantes, a maior e a menor descarga foram constatadas com o uso dos envoltórios de brita zero e bidim, respectivamente. Na avaliação quanto ao fator de resistência de entrada, verificou-se que todos os sistemas drenantes apresentaram seus valores compreendidos entre os limites estabelecidos na literatura, sendo considerados como muito bons.

## ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the hydraulic performance of different subsurface drainage systems under laboratory controlled conditions, using a sand tank horizontal physical model. The drainage systems were composed by the following materials: smooth PVC pipe for sewage, with nominal diameter of 50.0 mm and opened area of  $23,0 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ; Drenoflex corrugated flexible PVC pipe, with nominal diameter of 65,0 mm and opened area of  $23,0 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ; Kanaflex corrugated flexible polyethylene pipe of high density from the Kanaflex, with nominal diameter of 75,0 mm and opened area of  $110,0 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ; and the envelopes made of OP-20 bidim polyester synthetic blanket, zero crush, and foam polyurethane synthetic blanket, with 5,0 mm of thickness. The factorial statistical arrangement was used, where the nine treatments with three repetitions each, involved all combinations between drainage pipe and envelope. The evaluation of the drainage systems performance was based on typical parameters proposed in the literature. Respecting to inlet hydraulic head, all drainage systems were classified as regular. Considering the ratio between the inlet and total hydraulic head, the obtained results weren't satisfactory. Regarding the entrance resistance, it was verified significant difference for all drainage systems. The smooth PVC pipe presented larger entrance resistance with the foam envelope. Also, it was verified that the smaller values for the entrance resistance were obtained with the use of zero crush envelope, followed by the foam envelope in the conventional pipes. All drainage systems were classified good to very good. Regarding the outflow, it was verified that all drainage pipes with bidim and zero crush envelopes didn't presented difference. The Drenoflex and Kanaflex conventional drainage pipes didn't differ with the foam envelope use. For all drainage systems, the highest and lowest discharges were found with the use of zero crush and bidim envelopes, respectively. In the evaluation regarding the entrance resistance factor, all drainage systems presented values between the limits established in the literature, being considered as very good.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

Em regiões áridas e semi-áridas onde as precipitações são mal distribuídas no tempo e no espaço, torna-se necessário um planejamento agrícola eficiente por meio do conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera, para otimizar o manejo dos recursos naturais existentes, com destaque para o emprego das técnicas de irrigação e drenagem. A drenagem de terras agrícolas constitui-se, sem dúvida alguma, um complemento indispensável aos projetos de irrigação.

Para aumentar a produção agrícola e melhorar o rendimento das culturas, no sentido de satisfazer a demanda crescente de alimentos e fibras e motivar a permanência do homem no campo, é imprescindível se conhecer e controlar os processos de salinização, prevenindo e prevenindo-os na implantação de novas áreas irrigadas. A técnica da drenagem é um recurso que vem, justamente, com a irrigação para a solução destes problemas. O avanço da drenagem agrícola por meio de condutos subterrâneos ocorreu nas últimas quatro décadas do século XX, devido, em parte, à expansão da irrigação em consequência da grande demanda de alimentos causada pela explosão demográfica verificada nessas décadas.

A população mundial atual é estimada em torno de 6 bilhões de habitantes, sendo que a metade vive em países em desenvolvimento. A taxa média de crescimento anual da população mundial é de aproximadamente 2,6%. Para produzir alimento e fibra para esta crescente população, a produtividade das áreas atualmente cultivadas deve ser aumentada e mais terras devem ser cultivadas. A drenagem de terras agrícolas, ou a combinação entre a irrigação e a drenagem, é um dos mais importantes fatores na agricultura irrigada para manter ou melhorar as produções por unidade de área cultivada (Bos & Boers, 1994).

A experiência tem demonstrado que nos estudos de viabilidade de implantação de projetos de irrigação, principalmente no semi-árido, deve ser dada a devida importância ao item drenagem, de forma a evitar a implantação de projetos que possam

causar, em função de encharcamento e salinização, prejuízos aos produtores e à economia local e regional, além de danos ao ambiente. A implantação de projetos de irrigação, sem que seja dada a devida atenção ao fator drenagem, decorre muitas vezes da falta de conhecimento, nesta área, dos técnicos envolvidos nos estudos e preparo do projeto. Felizmente, já existe uma maior conscientização quanto a importância da drenagem subterrânea em relação aos cultivos e a conservação dos solos (Batista *et al.*, 1998).

Estudos conduzidos por Lenoz-Gratin (1989), Gonzaga (1994), Silva (1997), Almeida (1999) entre outros pesquisadores, demonstraram a importância e a necessidade de estudos específicos quanto a performance de materiais drenantes e envoltórios, para definir combinações de sistemas drenantes que apresentem desempenhos hidráulicos satisfatórios. Além dessas características, esses materiais alternativos devem ser de fácil aquisição no mercado local e apresentar facilidade de instalação desses sistemas em projetos de drenagem subterrânea, visto que os materiais convencionais são caros e/ou de reduzida disponibilidade no mercado.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar as características hidráulicas do tubo de PVC liso, próprio para esgoto doméstico, com os envoltórios de espuma, bidim OP-20 e brita zero, quando utilizado em sistemas de drenagem subterrânea e sob condições de laboratório, comparando-o com as características hidráulicas dos tubos convencionais Drenoflex e Kanonet com os envoltórios de espuma, bidim OP-20 e brita zero, mediante parâmetros típicos de avaliações, tais como: a carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ); a carga hidráulica total ( $h_{tot}$ ); a razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ); a resistência de entrada ( $r_e$ ); o fluxo ( $q$ ); e o fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ).

## **2.0 – REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 – Considerações Gerais**

A prática da drenagem agrícola consiste na remoção, por meios artificiais, do excesso de água acumulado no perfil do solo ou na superfície, com a finalidade de torná-lo mais aproveitável, propiciando às plantas cultivadas condições satisfatórias de umidade, aeração e balanço de sais, bem como adequá-lo aos trabalhos agrícolas (Cruciani, 1980; Sekendar, 1984; Millar, 1988; Batista *et al*, 1998).

De acordo com Ritzema & Braun (1994), os três principais objetivos da drenagem em terras agrícolas são: prevenir ou reduzir o encharcamento do solo; tornar disponível novas terras para a agricultura, e controlar a salinidade. Segundo estes autores, os dois primeiros objetivos visam conservar ou melhorar as áreas agrícolas existentes (expansão vertical), enquanto que o terceiro objetivo leva a cultivar em novas áreas (expansão horizontal).

O desenvolvimento bem sucedido da exploração agrícola depende do uso racional dos recursos naturais, minimizando ou eliminando alguns impactos ambientais adversos pela melhoria do planejamento, dimensionamento e implementação de projetos. O uso da terra deve ser sustentável de tal maneira que, a produtividade e a fertilidade do ambiente que se deseja manipular não diminuam com o tempo em detrimento do bem-estar da humanidade (Ritzema & Braun, 1994). Percebe-se que a drenagem é uma técnica necessária à ocupação de terras inexploradas ou à recuperação de outras seriamente prejudicadas por um manejo inadequado, do modo que se pratica quase sempre.

As primeiras referências sobre a drenagem subterrânea foram feitas no ano 2 A.C., na Antiga Roma, onde já era recomendada a abertura de valas que eram



preenchidas com cascalho. Outra referência data do ano de 1620, onde pela primeira vez, em um convento da França, foi feita drenagem subterrânea por meio de tubos de cerâmica, sendo a prática depois repetida na Inglaterra em 1810 (Batista *et al.*, 1998). Desde 1845 na Holanda e 1850 nos Estados Unidos, drenos subterrâneos de cerâmica têm sido instalados para melhoria das condições de desenvolvimento das culturas em solos agrícolas. Quase que, simultaneamente, problemas com sedimentação em linhas de drenos são reportados. Desde então a engenharia tem aplicado diversas formas de proteção dos orifícios dos drenos para prevenir a entrada de sedimentos (Vlotman, 1998).

Embora problemas de salinidade do solo possam ter contribuído para o declínio de civilizações antigas, segundo Maierhofer citado por Bos & Boers (1994), existe evidência que na agricultura irrigada, a importância da drenagem das terras para controle da salinidade foi compreendido muito cedo.

Os tipos de drenos predominantes usados na Europa, desde as primeiras introduções do tubo de drenagem (por volta de 1850) até cerca de 1970, eram de cerâmica. Estes tubos tinham diâmetros de 0,05 a 0,15 m e comprimentos de 0,3 a 0,33 m. A estabilidade química e longevidade destes tubos são de qualidade boa a excelente. Os tubos de concreto foram usados como drenos de campo em vários países, como os tubos cerâmicos, até tornarem-se obsoletos com a introdução dos tubos plásticos. Os tubos de concreto, de grandes diâmetros, são ainda, comumente, usados como coletores. Estes tubos são susceptíveis de sofrerem desintegração pela acidez a sulfato que pode estar presente no solo (Cavelaars *et al.*, 1994).

A introdução dos tubos plástico liso para drenagem iniciou-se em torno de 1960. Estes tubos depois foram substituídos por tubos de paredes corrugadas. As principais vantagens dos tubos plásticos sobre os de cerâmica ou de concreto é que são mais leves e isto faz com que o transporte e o manuseio destes tubos sejam bastante fáceis, possibilitando altos ritmos de instalação.

A drenagem é essencial para a produção agrícola em muitas regiões úmidas do mundo, onde é usada para melhorar o rendimento das culturas e a trafegabilidade de máquinas agrícolas, remoção do excesso de água da superfície do solo e da zona radicular efetiva. Em regiões áridas e semi-áridas irrigadas, a drenagem torna-se necessária para prevenir o encharcamento do solo, controlar a altura do lençol freático e a salinidade (Fipps & Skaggs, 1991). A drenagem é uma prática que vem em consequência da irrigação; a primeira preocupação é irrigar e a seguir, com o surgimento dos problemas de

encharcamento e/ou salinização, evidencia-se, em muitas áreas, a necessidade de implantação de sistemas de drenagem subterrânea (Cruciani, 1980; Batista *et al.*, 1998).

De acordo com Postel, citado por Bouwer (2000), a incapacidade para controlar o lençol freático abaixo da zona radicular efetiva em áreas irrigadas tem causado o fim, paulatinamente, de civilizações antigas e esta é a razão porque muitas terras irrigadas no mundo estão perdendo a produtividade ou mesmo vindo a ser abandonadas. Ultimamente a irrigação sem um controle do lençol freático baixo é a causa de problemas de encharcamento e salinidade. Na realidade, a prática da irrigação somente pode ser aplicável se os sais e a água forem, adequadamente, removidos e manejados através da drenagem sem causar nenhum prejuízo ao ambiente.

A salinidade do solo é um dos principais obstáculos ao desenvolvimento da agricultura irrigada em regiões úmidas, áridas e semi-áridas do mundo. A cada ano cerca de  $4 \times 10^4$  ha de terras tornam-se impróprias para a produção agrícola por causa do problema da salinização do solo. De acordo com Tyagi citado por Lamsal *et al.* (1999) agências das Nações Unidas indicaram que cerca de 50% da área irrigada no mundo estão salinizadas ou constituem risco potencial no futuro. Em regiões úmidas e sub-úmidas, onde existem chuvas suficientes, a preocupação com a salinidade é mínima porque a chuva é suficiente para lixiviar os sais acumulados no solo. Este problema é mais severo em regiões áridas e semi-áridas, onde os totais de chuvas anuais além de ser insuficiente para atender a demanda hídrica das principais culturas são distribuídos mensalmente de forma irregular.

O problema da salinidade em solos irrigados é um fenômeno complexo e está associado a vários fatores e condições. Os sais contidos na água de irrigação tendem a concentrar-se na solução do solo como resultado da evapotranspiração. Além disso, o movimento ascendente de água salina de um lençol freático raso aumenta a acumulação de sais na zona radicular. Com isso, a dissolução mineral, a precipitação e a troca de íons podem favorecer o complicado processo de salinização. Periodicamente, os sais lixiviados para fora da zona radicular mantêm um balanço de sais pela aplicação de uma fração extra da água de irrigação (Lamsal *et al.*, 1999).

Na agricultura irrigada, a água é a principal fonte de sais. Cerca de um terço das terras irrigadas no mundo (270 milhões de hectares) é afetada pela salinidade. A água de irrigação, mesmo aquela classificada como de boa qualidade, sempre contém sais dissolvidos e traços de elementos químicos (Lima, 1998). Desse modo, em regiões áridas e semi-áridas, a irrigação pode causar a salinização secundária mediante a ascensão capilar

da água subterrânea. Para prevenir a salinização, todos esses sais devem ser removidos pela água de drenagem. Assim, a drenagem agrícola é uma condição para a sustentabilidade da agricultura em terras irrigadas (Ayers & Westcot, 1991; Ritzema & Braun, 1994).

A acumulação de sais, na rizosfera, prejudica o crescimento e o desenvolvimento das culturas, provocando um decréscimo da produtividade e, em casos mais severos, pode levar a um colapso da produção agrícola. Isto ocorre em razão da elevação do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo (Lima, 1998). Os sistemas de drenagem são projetados e instalados para remover o excesso de água e lixiviar os sais dissolvidos da zona radicular. Historicamente, o dimensionamento de sistemas de drenagem tem tratado somente com o controle do lençol freático para determinadas taxas de percolação da água de irrigação e da infiltração em canais. Em alguns casos, a fração de lixiviação é usada para assegurar a remoção dos sais (Guitjens *et al.*, 1997).

Como na região semi-árida do Brasil há muitas áreas irrigadas, é de se prever que a necessidade de fazer drenagem subterrânea será cada vez maior, principalmente, para evitar que os solos se tornem salinos. No Nordeste brasileiro estima-se que existam, no mínimo, 50.000 ha com teores médios a altos de salinização, onde a instalação de drenos subterrâneos é uma prática indispensável (Batista *et al.*, 1998).

Ferreira (1996) afirma que a remoção de sais, na zona radicular, para manter a solução do solo a um nível de salinidade compatível com o sistema de cultivo, depende do estabelecimento e manutenção de um balanço de sais na zona radicular, o que significa que, para manter uma agricultura irrigada a longo prazo, é necessário que a quantidade de sais retirada da área seja igual àquela que entra na mesma. Neste contexto, a lixiviação dos sais é fator decisivo e mais importante para evitar a salinização de uma área irrigada. Segundo Rao *et al.* 1991, citados por Datta *et al.* (2000), em pesquisa desenvolvida em uma camada de solo superficial a salinidade decresceu consideravelmente, após a instalação de um sistema de drenagem, de 50 dS.m<sup>-1</sup> em 1984 para mais ou menos 5 dS.m<sup>-1</sup> em 1991.

## 2.2 - Benefícios da Drenagem

A questão dos benefícios da drenagem é abordada do ponto de vista do estabelecimento e manutenção de uma agricultura permanente, com a finalidade de promover diretamente o bem-estar das pessoas e o bom desenvolvimento das culturas.

O solo é um meio poroso constituído por três fases: a líquida, a sólida e a gasosa. Em um solo “ideal”, a parte sólida (matriz do solo) corresponde a 50% e o restante pode ser manejada aplicando ou retirando água e, portanto, referente a parte líquida e gasosa do solo. A drenagem é essencial para retirar o excesso de água a fim de manter o suprimento adequado de oxigênio. Outros fatores associados com a drenagem e o desenvolvimento de plantas são a temperatura do solo, a resistência a doenças, desenvolvimento de raízes e condições químicas e biológicas favoráveis ao desenvolvimento das plantas (U.S. Department of the Interior, 1984).

Mediante a drenagem aumenta-se o rendimento das culturas porque a remoção gravitacional da água que não é disponível para as plantas contribui nos seguintes aspectos: a) aumenta o volume de solo que as raízes possam explorar; b) aumenta o movimento e a quantidade de ar no solo; c) melhora as condições que permitem ao solo um rápido aquecimento; d) aumenta a atividade microbiana do solo, fazendo com que melhore a estrutura do solo e os nutrientes tornem-se mais disponíveis para as plantas; e) reduz a erosão do solo, uma vez que um solo bem drenado tem mais capacidade de reter a água, resultando em menos perdas por escoamento superficial; f) remove as substâncias tóxicas, tais como o sódio e outros sais solúveis que em altas concentrações retardam o desenvolvimento das plantas. Outros benefícios que podem não resultar no incremento dos rendimentos incluem a redução no tempo e operações de colheita (Schwab *et al.*, 1971).

Manter a produtividade das culturas em áreas intensamente irrigadas tem sido dependente de uma drenagem adequada. A longo prazo, a sustentabilidade da atividade agrícola sem a drenagem é, altamente, questionável em termos de manter não só a integridade ambiental, o lençol freático baixo, como também a produtividade das culturas, devido ao risco acelerado de encharcamento e salinidade na zona radicular efetiva das culturas (Manguerra & Garcia, 1997). Estes dois fatores podem ser prevenidos por um melhor controle da água, assegurando que todo projeto de irrigação tenha uma drenagem adequada (Garcia *et al.*, 1992; Datta *et al.*, 2000). Quando um sistema de drenagem é

instalado em áreas irrigadas ocorre a redução da salinidade do solo, o rebaixamento do lençol freático e o incremento no rendimento das culturas (Abdel-Dayem *et al.*, 1987).

A falta de drenagem subterrânea em uma área pode resultar em uma ascensão do lençol freático acima da zona radicular efetiva das plantas cultivadas, que obstrui a troca de oxigênio e dióxido de carbono entre a atmosfera e o sistema radicular da planta e reduz também, os benefícios da lixiviação dos sais solúveis dentro e abaixo da zona radicular (Dass & Morel-Seytoux, 1974).

Um sistema de drenagem é considerado efetivo quando é possível remover o excesso de água do solo em um tempo suficientemente rápido. A efetividade de um sistema de drenagem é, freqüentemente, descrita em termos da altura do lençol freático, onde sendo baixo indica um bom funcionamento do sistema, enquanto que alto indica um péssimo funcionamento (Wesseling & van Someren, 1972).

## **2.3 - Materiais Usados na Drenagem**

### **2.3.1 – Tubos**

Dentre os sistemas de drenagem subterrânea destacam-se os poços de drenagem, as valas, os tubos ou os drenos toupeira. Os poços de drenagem e os drenos toupeira são aplicados somente em condições muito específicas. As valas têm a vantagem de receber o fluxo diretamente por terra, mas as desvantagens, freqüentemente, sobrepoem as vantagens. As principais desvantagens são a perda de terra, interferência com o sistema de irrigação e manutenção das bordas.

Os três materiais predominantes para a confecção de tubos de drenagem de plástico são o policloreto de vinil (PVC), o polietileno de alta densidade (PEAD) e em menor incidência o polipropileno (PP). Em condições de altas temperaturas, os tubos de PEAD são mais afetados do que os de PVC, conseqüentemente, o risco de deformação é maior. Por outro lado, o PVC torna-se mais sensível a baixas temperaturas, tornando-se frágil quando exposto a temperaturas abaixo do ponto de congelamento (Dieleman & Trafford, 1976; Cavelaars *et al.*, 1994).

Devido às relações entre oferta e demanda, nos Estados Unidos e Canadá, o polietileno de alta densidade (PEAD) tem revelado um custo inferior ao PVC, enquanto que na Europa verificou-se o oposto. O PVC apresenta maior resistência mecânica que o PEAD. Por outro lado, revela uma tendência de se tornar frágil a temperaturas próximas a 0 °C. O PEAD reduz, consideravelmente, sua resistência mecânica com o aumento da temperatura, podendo sofrer distensões durante a instalação. Esses tubos quando expostos a radiação solar direta podem atingir temperaturas superiores a 40 °C (Fouss, 1974).

Os tubos plásticos corrugados são condutos leves e relativamente flexíveis de polietileno de alta densidade, usados principalmente nos Estados Unidos e Canadá, e de policloreto de vinil (PVC), usados nos países da Europa. Os tubos de PVC apresentam corrugações transversais, com função de reforço mecânico-estrutural, para resistir à ação compressiva do meio envolvente quando instalado para funcionar como dreno subterrâneo. Os tubos corrugados de drenagem subterrânea oferecem vantagens em termos técnicos e econômicos, como: custos mais baixos de aquisição e instalação; alta resistência a deformações e ataques químicos; facilidade de transporte e instalação; razão pela qual dominaram o mercado de todos os países desenvolvidos. No Brasil, a produção deste tipo de conduto teve início no ano de 1988, propiciando um grande impulso à técnica da drenagem subterrânea (Batista *et al.*, 1998).

Batista *et al.* (1984) ao estudarem o comportamento do tubo drenante constituído de PVC rígido de paredes lisas próprio para esgoto de 50 mm de diâmetro, em condições de campo, com envoltórios de brita nº 1 e bidim OP-20 associado com a brita nº 1, concluíram que o emprego deste tipo de tubo como material drenante pode ser uma solução adequada para a drenagem agrícola. Coelho *et al.* (1999) ao avaliarem um sistema de drenagem de PVC corrugado de 75 mm de diâmetro, sob condições de campo, com envoltórios de areia grossa e manta poliéster, concluíram que o uso de areia grossa como material envoltório resultou em maior eficiência do sistema, quando comparado com a manta de poliéster.

Segundo Appu 1973 citado por Coelho & Pereira (1992), o bambu, como material drenante alternativo, tem sido usado na Índia desde 1968, tendo-se apresentado bastante adequado à situação dos pequenos produtores daquele país. Nwa (1981), verificando a viabilidade técnica do uso do bambu-gigante (*Bambusa vulgaris*) cortado em varas de 4,0 m, com perfurações de 6,0 mm de diâmetro, concluiu que este material pode, efetivamente, ser usado na drenagem agrícola. Coelho & Pereira (1992) verificando a viabilidade técnica e o desempenho do bambu como material drenante sob diferentes

arranjos, em condições de campo, comparando-o com o tubo de PVC corrugado, concluíram que o bambu apresentou-se, tecnicamente, viável na drenagem agrícola.

A procura de técnicas e materiais capazes de reduzir os custos de implantação de sistemas de drenagem subterrânea empregando drenos entubados, sem que haja perda da qualidade técnica do produto, deve constituir-se em preocupação constante dos técnicos envolvidos em trabalhos de drenagem, principalmente quando se tratar de drenagem de terras agrícolas. Assim, os tubos usados na drenagem agrícola podem ser, na maioria das vezes, substituídos por tubos de PVC rígidos e lisos, do tipo utilizado em esgoto doméstico, que são, geralmente, de custo inferior aos de seus concorrentes, além de apresentarem facilidade de manuseio e assentamento, o que resulta em redução de custo de implantação. Um outro ponto positivo é a facilidade com que esse material pode ser encontrado no mercado (Batista *et al.*, 1984).

### 2.3.2 - Envoltórios

Envoltório é todo material mineral, sintético ou orgânico colocado ao redor do tubo de drenagem, com a finalidade de propiciar condições para que o gradiente hidráulico na interface solo-envoltório seja mantido baixo. Este material deve facilitar o fluxo da água do solo para o dreno, permitindo que sua velocidade se mantenha baixa, e que a desagregação e o carreamento de partículas do solo para o interior do dreno sejam mínimos (Batista *et al.*, 1998).

Em solos de baixa ou nula estabilidade estrutural, o carreamento de partículas do solo, pela água para o interior do tubo drenante pode redundar no colapso do sistema, devendo ser evitado com o emprego de envoltório apropriado quanto ao tipo e seu dimensionamento (Dierickx & Yuncuoglu, 1982). Por isso, alguns cuidados devem ser tomados visando impedir a entrada do mínimo possível de partícula de solo no interior dos tubos, que do contrário poderá obstruí-los. Se existe algum risco de obstrução, material adequado deve ser colocado ao redor dos drenos. Todo tipo de material permeável, tais como cascalho, areia, fibra de coco, fibra sintética, serragem, etc., são usados como materiais envoltórios, mas somente alguns desses protegem, eficientemente, os drenos em solos franco-arenosos e franco-siltosos (Sekendar, 1984). Segundo Silva, citado por Benatti Jr. *et al.* (1989) as mantas geotêxteis formadas por fibras artificiais, geralmente, de

poliéster ou polipropileno apresentam alguns pontos favoráveis ao uso, tais como: material imputrescível, alta permeabilidade, dispensa cálculos granulométricos necessários aos envoltórios de areia, de fácil colocação ao redor do dreno, exigindo menos mão-de-obra que a colocação de materiais granulares.

Nos projetos de drenagem o conhecimento da estrutura do solo é importante. A estabilidade dos agregados de um solo estruturado depende das condições físicas e químicas do solo e do conteúdo de umidade, portanto, um solo estruturado pode perder sua estabilidade por causa da pressão do fluxo exercido pela água fluindo sob um dado gradiente hidráulico. O fluxo de água ocorre nos poros entre os agregados. Se os agregados perdem sua estabilidade, provavelmente todo o sistema de drenagem falhará. Os materiais envoltórios não só previnem a invasão de partículas de solo, como também reduzem a resistência de entrada do tubo drenante, criando uma camada altamente permeável ao redor do dreno e, adicionalmente, eles também contribuem para diminuir o gradiente hidráulico na vizinhança do dreno (Dierickx *et al.*, 1987).

O fluxo da água subterrânea converge em direção ao dreno, concentrando-se na direção de suas aberturas. Isto acarreta um incremento pronunciado no gradiente hidráulico na vizinhança do dreno. Como consequência, o risco das partículas de solo movimentarem-se em direção ao interior do dreno é intensificado. Quando uma zona altamente permeável é introduzida ao redor do dreno, o número de poros conectados sobre o limite entre o solo e o envoltório aumentará, decrescendo o gradiente hidráulico e assim reduzindo o risco de movimento de partículas de solo. Os parâmetros de importância fundamental para os envoltórios são, portanto, sua porosidade total, distribuição do tamanho dos poros, permeabilidade e espessura (Knops & Dierickx, 1979).

A função do envoltório é facilitar a captação da água e seu fluxo para o tubo, enquanto que o dreno principal tem a função de conduzir o excesso de água para fora da área a ser drenada (Batista, 1998). A performance do material envoltório depende, acentuadamente, das condições do solo. Um material envoltório que funciona bem em uma dada situação, pode ser inadequado em outra (Dierickx & Yuncuoglu, 1982). Além da função de proteger o tubo desde que cobrindo-o totalmente, o material envoltório tem também uma função hidráulica ao reduzir a resistência de entrada da água no dreno. Na maioria das equações de drenagem usadas para calcular o espaçamento dos drenos, assume-se a condição de um dreno ideal, isto é, um dreno em que suas paredes não oferecem resistência nenhuma ao fluxo de água e, portanto, a resistência de entrada não é considerada. Contudo, em situações práticas de drenagem esta suposição não é verdadeira.



Como resultado, uma parte extra do potencial devido a uma presença da resistência de entrada pode manifestar-se em um lençol freático elevado com possível consequência inadequada para drenagem (Sekendar, 1984; Tiligadas, 1988).

Um dos benefícios do uso do envoltório é o incremento da permeabilidade nas proximidades do tubo drenante, possibilitando um fluxo da água mais livremente na direção de suas ranhuras ou perfurações. O efeito é similar à conversão de um tubo com algumas aberturas para algo que é completamente permeável. Este incremento da permeabilidade pode, provavelmente, ser obtido com um envoltório de 1,5 cm de espessura. Aumentando o diâmetro do envoltório reduz-se a velocidade de fluxo da água na interface solo-envoltório, decrescendo, assim, a probabilidade do movimento de partículas de solo. No entanto, uma espessura ótima do material envoltório ao redor do dreno ainda não foi determinada, precisamente (Willardson, 1974).

A vida útil dos envoltórios orgânicos é limitada por causa da sua origem e depende da atividade microbiológica do solo, que é função da temperatura, das propriedades químicas do solo e da presença de oxigênio. A velocidade de decomposição é retardada sob condições de temperatura reduzida. Conseqüentemente, envoltórios orgânicos são ou devem ser usados principalmente na Europa Ocidental, não sendo recomendados para regiões áridas ou semi-áridas (Cavelaars *et al.*, 1994).

Nos últimos anos tem ficado claro que para entender as causas de um mal funcionamento de um sistema de drenagem devido à obstrução do tubo e/ou envoltório, as investigações de campo devem ser, cuidadosamente, detalhadas. Elas são caras e consomem tempo. Escavações acompanhadas por uma inspeção visual dos tubos drenantes não fornecem informação o bastante do atual estágio e, certamente, não explicam inteiramente o fenômeno envolvido (Dierickx *et al.*, 1987).

Wesseling & van Someren (1972) ao estudarem o efeito do fator resistência de entrada ( $\alpha$ ) em tubos de PVC de paredes lisas, de diâmetro nominal de 50 mm, com e sem o uso de diferentes envoltórios em condições de campo e de laboratório, observaram uma redução no fator de resistência correspondente a um máximo de 54 vezes em relação ao uso do material drenante sem envoltório.

Datta *et al.* (2000) ao pesquisarem materiais envoltórios, em condições de laboratório e de campo, revelaram que o custo do material envoltório variou até 30% de um projeto a outro, em função da disponibilidade local do material envoltório. Os fatores considerados por eles como sendo críticos foram tipo e volume do material usado. Revelaram também, que o envoltório constituído de material sintético de fabricação local

auxiliou na redução dos custos e que todos os materiais testados apresentaram uma performance satisfatória.

Bonnell *et al.* (1992) ao examinarem o comportamento de envoltórios constituídos de fibras de poliéster, polietileno, nylon, etc., sob condições de laboratório e de campo, em solos com predomínio de areia e silte, concluíram que após quinze anos, todos os envoltórios investigados mantiveram a mesma performance de suas funções planejadas. Concluíram também, que o fluxo de saída dos drenos era satisfatório e se manteve suficientemente rápido e, portanto, semelhante ao da época de instalação do sistema de drenagem.

Dierickx *et al.* (1987) revelaram que as características do solo e as condições de fluxo são importantes tanto quanto o tipo de envoltório, sobre a performance da drenagem. Em solos arenosos não coesivos com baixo conteúdo de partículas de argila e/ou silte, pobre em matéria orgânica e sem perigo de obstrução química, o tipo de envoltório não é importante se suas aberturas são pequenas o bastante para prevenir a entrada de partículas de solo por meio do fluxo. Pereira & Cruciani (1988) ao avaliarem o desempenho de diferentes envoltórios utilizados na drenagem subterrânea, concluíram que a manta geotêxtil bidim OP-30 apresentou uma boa velocidade de drenagem e uma eficiente proteção contra o carreamento de partículas de solo.

### **2.3.2.1 - Avaliação da Necessidade de Envoltório**

Uma das decisões mais importantes a ser tomada durante a fase de planejamento de um projeto de drenagem subterrânea diz respeito à necessidade ou não do uso de envoltórios para os drenos e, se necessário, que material deve ser usado para os diversos tipos de tubos e de solos existentes. Vários problemas têm sido associados ao uso de material natural inorgânico, tais como, cascalho e areia grossa, principalmente em relação ao alto custo de transporte e escassez desses materiais. Apesar de serem considerados ideais do ponto de vista de sua vida útil para ser usados como envoltórios, estes materiais são pesados e volumosos, dificultando seu manuseio durante a instalação dos sistemas de drenagem. Os materiais orgânicos, embora mais leves e menos volumosos, são biodegradáveis e, conseqüentemente, podem ter uma vida útil curta sob certas condições de intempérie (Salem & Willardson, 1992).

A necessidade de envoltórios para drenos depende, principalmente, das características e propriedades do solo da região onde a drenagem subterrânea será implantada. O método mais recomendável para determinação da necessidade de envoltórios para drenos é a implantação de linhas de teste no campo para os diferentes tipos de solos que ocorrem na área. Porém, a implantação de uma área piloto é cara e consome tempo, além de retardar a tomada de decisão (Vlotman, 1998). O engenheiro de drenagem, geralmente, baseia sua decisão sobre o uso de envoltório no conhecimento adquirido com a vivência em experimentos de laboratório e em avaliações de pesquisas de campo (Knops & Dierickx, 1979).

Segundo Vlotman (1998) para avaliar a necessidade de um envoltório, algumas características do solo devem ser conhecidas, tais como: tamanho das partículas do solo; percentagens de areia, silte e argila; índice de plasticidade do solo; e a relação de adsorção de sódio - RAS do extrato de saturação do solo. Solos que apresentam força de coesão baixa ou nula, por possuírem textura arenosa ou siltosa, como as areias quartzosas, regossolos, planossolos e aluviais leves, solos dos tipos vertissolos e aluviais com altos teores de argila expansiva, bem como solos dispersivos do tipo bruno não-cálcico necessitam de envoltório como forma de minimizar o carreamento de partículas do solo para o sistema de drenagem (Batista et al., 1998).

Segundo Broughton *et al.* (1976) solos com predominância de areia fina são os mais problemáticos de serem drenados, vindo a seguir os solos siltosos. Para os solos com estas características o emprego de envoltório é indispensável. Em solos instáveis, a entrada de sedimento pode ser tão rápida ao ponto de gerar falhas significativas nos drenos mesmo antes da entrada de água (Willardson & Ahmed, 1987). Não só os tubos drenantes instalados em solos arenosos necessitam de envoltórios, mas também os drenos instalados em solos estruturados fracamente coesivos (Dierickx *et al.*, 1987). Segundo Vlotman (1998), para solos que apresentam um teor de argila maior que 40% não há necessidade de envoltórios, já os solos com um teor de argila entre 0 a 5% a utilização de envoltório torna-se mandatória, enquanto que para solos com um teor de argila intermediário, o envoltório será, provavelmente, apenas recomendável.

Embora os materiais envoltórios aumentem a performance da drenagem na circunvizinhança dos drenos ao reduzir, consideravelmente, a resistência de entrada para os drenos, eles são na maioria das vezes usados para prevenir a invasão de partículas de solo e evitar a obstrução do tubo. Solos argilosos e bem estruturados não requerem a utilização de materiais envoltórios. A necessidade de envoltórios em casos intermediários depende da

coesão e estabilidade estrutural do solo (Nieuwenhuís & Wesseling, 1979; Dierickx, 1982; Dierickx & Yuncuoglu, 1982).

### 2.3.2.2 - Escolha do Envoltório

A escolha do envoltório deve, de uma maneira geral, ser feita em função do custo final do material colocado no local da obra, custo de instalação e efetividade do material. O cascalho ainda é o tipo de envoltório para drenagem subterrânea mais popular em áreas irrigadas de regiões áridas e semi-áridas. Ele é usado em solos arenosos, siltosos e dispersivos e em subsolo instável sob lençol freático alto, onde um material volumoso, altamente permeável, geralmente, é requerido (Knops & Dierickx, 1979). Muitas vezes não existe material apropriado nas imediações da área a ser drenada. Desta forma, o custo do envoltório inorgânico pode ficar muito alto devido ao custo do transporte. Em situações como estas, o emprego de envoltório sintético pode ser bem mais prático e econômico. Para drenos corrugados, principalmente aqueles que apresentam perfurações em todas as corrugações, o envoltório sintético apresenta condições satisfatórias (Batista *et al.*, 1998).

Um dos tipos de materiais envoltórios que são amplamente aceitos e usados, na drenagem agrícola são os não-tecidos de filamentos contínuos agulhados. Segundo Rollin, citado por Bolduc *et al.* (1987) uma porosidade de 70 a 90% tem sido mensurada para envoltório sintético não-tecido. Estas altas frações vazias admitem o fluxo de água, suavemente, por meio dos materiais porosos constituídos de fibras distribuídas aleatoriamente. A distância entre fibras está relacionada com a espessura do material, do diâmetro da fibra e da massa por unidade de área. Um bom material envoltório projetado deve ter uma porosidade ampla o bastante para assegurar o fluxo de água sem interrupção e que ao mesmo tempo tenha poros pequenos o suficiente para reter as partículas de solo.

## 2.4 - Condutividade Hidráulica Saturada ( $K_0$ )

Em 1856, Darcy expressou a relação entre o fluxo e o gradiente hidráulico da água em um meio poroso constituído de areia. O coeficiente de proporcionalidade entre

estes dois termos é chamado de condutividade hidráulica ( $K$ ) (Beltrán, 1986; Chossat, 1987). A condutividade hidráulica é um dos mais importantes parâmetros hidráulicos para descrever o fluxo de água nos solos (Prasher *et al.*, 1987; Silva, 1989). Este parâmetro dá uma indicação da maior ou menor permeabilidade do solo, refletindo diretamente no maior ou menor espaçamento entre os drenos (Coelho *et al.*, 1986). A equação que descreve o fluxo ( $q$ ) definida por Darcy pode ser escrita como:

$$q = -K_{\theta} * i \quad (1)$$

em que:

$q$  = taxa de fluxo, em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ ;

$K_{\theta}$  = condutividade hidráulica saturada, em  $m \cdot dia^{-1}$ ;

$i$  = gradiente hidráulico, adimensional;

Do ponto de vista de drenagem, os dados de condutividade hidráulica ( $K$ ) são muito importantes e estando presente em todas as equações para o cálculo do espaçamento de drenos e delineamento do sistema de drenagem (Millar, 1988). Embora a condutividade hidráulica saturada ( $K_{\theta}$ ) seja o parâmetro do solo de maior importância no dimensionamento de espaçamento entre drenos ela é um dos fatores mais difíceis de determinar, segundo Schwab *et al.* 1996, citados por Moustafa (2000). Frequentemente, sua variabilidade espacial é ampla, vindo a dificultar a estimativa de valores mais representativos a ser utilizados nas equações para cálculo de espaçamento dos drenos e/ou manejo do solo. Assim, um grande número de medições pode ser requerido para levar em conta esta variabilidade, permitindo, portanto, uma estimativa mais fidedigna da condutividade hidráulica saturada ( $K_{\theta}$ ).

Na maioria dos solos a condutividade hidráulica varia, consideravelmente, nas direções vertical e horizontal. Assim, para um dimensionamento adequado de um sistema de drenagem agrícola, deve-se conhecer a magnitude e variação deste parâmetro com suficiente precisão (Ridder & van Aart, 1978).

Diversas tentativas têm sido feitas para inferir sobre a variabilidade espacial da condutividade hidráulica saturada ( $K_{\theta}$ ) e somente poucos estudos têm incorporado esta variabilidade espacial em dimensionamento de drenagem subterrânea. Todavia, nenhum deles tem sido aplicado na prática, pois eles requerem uma ampla quantidade de dados que, raramente, são disponíveis em situações práticas (Moustafa, 2000).

Segundo Warrick & Nielsen e Vereecken, citados por Moustafa (2000), métodos rápidos e fidedignos para estimativas de valores de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) dos solos no campo parece ser não só de uma importância crucial para o dimensionamento de drenagem em uma escala ampla, mas também, para aplicações práticas de muitos modelos de simulações de fluxo e estudos ambientais.

Segundo Ferreira *et al.* (1993) o espaçamento entre drenos, sendo estes distanciados de 3,0 m da camada impermeável, é altamente dependente da condutividade hidráulica ( $K$ ). Por outro lado, observa-se que o efeito da porosidade drenável ( $\mu$ ) sobre o espaçamento é muito pequeno. Isso comprova que a porosidade drenável ( $\mu$ ), estimada da raiz quadrada da condutividade hidráulica ( $K$ ), é aceitável do ponto de vista do dimensionamento de sistemas de drenagem.

## 2.5 - Porosidade Drenável ( $\mu$ )

A porosidade drenável ( $\mu$ ) é uma característica do solo indispensável ao dimensionamento dos sistemas de drenagem pelos métodos baseados nas condições de regime variável. É também fundamental para estimar a elevação do lençol freático, em um solo com o conteúdo de umidade próximo à capacidade de campo, conseqüente da percolação de uma lâmina de água (Ferreira, 1988).

A porosidade drenável ( $\mu$ ) é definida como a taxa entre o volume de água extraído durante a drenagem e o volume de solo drenado. Esta é a fração de água que é removida da porosidade do solo quase, instantaneamente, quando a superfície livre do lençol freático é rebaixada. Mais precisamente, é a relação entre o volume de água removido e o volume de solo drenado entre dois níveis do lençol freático (Chossat, 1987). Pizarro (1978) e Beltrán (1986) definem a porosidade drenável ( $\mu$ ) como a fração da porosidade total do solo ocupada pela água que se move livremente, sendo o seu valor correspondente à quantidade de ar presente no solo à capacidade de campo. Diante deste contexto, a porosidade drenável ( $\mu$ ) é considerada um parâmetro constante e igual à macroporosidade do solo.

Segundo Queiroz *et al.* (1995) considerar a porosidade drenável ( $\mu$ ) como um valor constante, pode não ser a condição mais adequada para o dimensionamento de

sistemas de drenagem agrícola em situações cujo critério de drenagem é estabelecido considerando-se a dinâmica do lençol freático, conforme as exigências das culturas a serem exploradas.

A porosidade drenável ( $\mu$ ) tem um efeito importante sobre as propriedades do solo, como capacidade de infiltração, aeração, desenvolvimento das raízes e condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ). A relação entre a porosidade drenável ( $\mu$ ) e a condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) é, entretanto, mal definida. Alta porosidade drenável ( $\mu$ ) nem sempre coincide com uma alta condutividade hidráulica ( $K$ ) (Stuyt, 1992).

Uma análise adequada dos dados de porosidade drenável constitui um aspecto de fundamental importância no planejamento e dimensionamento de um sistema de drenagem subterrânea. O espaço poroso drenável ( $\mu$ ), invariavelmente, aparece nas equações de dimensionamento de drenagem derivada de uma base da teoria do fluxo variável (Gupta, 1992).

Segundo Kabat, citado por Borin *et al.* (2000) a porosidade drenável ( $\mu$ ) pode ser obtida a partir de informações sobre a elevação do lençol freático, mediante uma chuva ou evento de irrigação, pela seguinte equação:

$$\mu = \frac{P}{\Delta H} \quad (2)$$

em que:

$\mu$  = porosidade drenável, adimensional;

$P$  = quantidade de água percolada, em mm;

$\Delta H$  = variação do lençol freático, em mm.

## 2.6 - Resistência de Entrada da Água nos Tubos de Drenagem

A água entra nos drenos através de pequenas aberturas em suas paredes havendo uma resistência de entrada da água que contribui para as linhas de fluxo convergirem para o dreno, podendo resultar em um lençol freático fixo a uma altura um pouco acima do dreno (Fipps & Skaggs, 1991). Experiências têm mostrado que em solos de condutividade hidráulica relativamente baixa, o efeito da resistência de entrada é

considerável. Se o tubo for instalado sob condições úmidas de solo poderá ocorrer uma sedimentação no dreno acompanhada de uma alta resistência de entrada (Cavelaars *et al.*, 1994).

Segundo Wesseling & Homma 1967, citados por Knops & Dierickx (1979), experimentos com diferentes tipos de envoltórios demonstraram que um decréscimo na resistência de entrada pode ser obtido mais facilmente, aumentando-se a espessura do envoltório em vez de aumentar o diâmetro do tubo ou das perfurações. Na opinião desses pesquisadores, em condições de igualdade das propriedades hidrológicas e gradiente hidráulico é melhor usar drenos de menor diâmetro com envoltório do que drenos com maior diâmetro sem envoltório.

Um aumento do número de filas de perfurações nos tubos de drenagem, segundo Nieuwenhuis & Wesseling (1979), é uma forma mais efetiva de reduzir a resistência de entrada do que o aumento do tamanho das aberturas. Seus estudos mostraram que o aumento do número de filas de 4 para 8 reduziu a resistência de entrada de 50 a 60%.

A resistência de entrada e as perdas de carga na vizinhança mais próximas aos drenos subterrâneos, podem controlar a efetividade dos sistemas de drenagem. Estes parâmetros são funções das propriedades do solo, da geometria do tubo e das propriedades do material envoltório. As propriedades do solo são passíveis de mudanças, particularmente, após a instalação dos drenos. Como resultado, espera-se que a resistência de entrada e as perdas de carga na vizinhança imediata aos drenos possam ser modificadas (Bentley & Skaggs, 1993). Segundo Stuyt (1989), sistemas de drenagem que apresentam altos valores de resistência de entrada (*re*) possuem baixa eficiência com relação ao rebaixamento do lençol freático.

A migração de partículas finas do solo para dentro do tubo dreno pode alterar as condições do solo na vizinhança ao dreno, resultando em um decréscimo na resistência ao fluxo. Por outro lado, de acordo com Bodman & Harradine citados por Bentley & Skaggs (1993), no processo de migração as partículas podem vir a alojar-se em pequenos poros do solo, da interface solo-dreno ou do envoltório e aumentar a resistência ao fluxo. Almeida (1999) ao estudar o comportamento de diversos envoltórios em condições de laboratório, entre eles a brita nº 1 e vários tipos de mantas sintéticas, concluiu que os envoltórios constituídos de brita nº 1 com 15 cm de espessura e a manta sintética de bidim OP-20, apresentaram os melhores desempenhos quanto à variável resistência de entrada.



Segundo Stuyt (1989) a componente de entrada ( $he$ ) é importante por considerar a resistência de entrada ( $re$ ), cuja expressão é a razão entre a carga hidráulica na entrada ( $he$ ) gerada pelo fluxo ao atravessar o envoltório e as paredes do tubo, e a do envoltório e a descarga unitária ( $q$ ).

Assim sendo, deduz-se que a resistência de entrada ( $re$ ) é um parâmetro adequado para a determinação do rendimento de um sistema de drenagem.

Os critérios quanto à resistência de entrada ( $re$ ) dependem de fatores tais como vazões normais da descarga nas condições hidráulicas e do cultivo predominante, da profundidade dos tubos e das profundidades ou flutuações que convenham o nível freático (Dieleman & Trafford, 1976).

Segundo Wesseling & van Someren (1972), para a investigação da resistência de entrada somente a diferença de nível dos piezômetros localizados no interior do tubo drenante e adjacentes a esse é um indicativo da perda de carga do sistema de drenagem. A medida da perda de carga não corresponde somente à resistência do material envoltório e das aberturas do tubo, mas inclui também a resistência da parte inferior do solo. O fluxo eliminado pelo sistema de drenagem não deve ser considerado isoladamente, devendo-se ter em vista por sua vez os fatores que o influenciam, em especial a carga hidráulica existente nas imediações dos tubos. Portanto, declarar como bom o rendimento do material drenante considerando somente a descarga dos drenos, sem relacioná-la com as condições de solo e do nível freático, pode incorrer em erro (Dieleman & Trafford, 1976).

Para a avaliação do desempenho de um sistema de drenagem van Someren & Naarding (1965) citados por Wesseling & van Someren (1972) propuseram os critérios apresentados na Tabela 1, baseados na carga hidráulica de entrada ( $he$ ) e na resistência de entrada ( $re$ ) para uma descarga de  $7,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ .

**Tabela 1 – Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $he$ ) (van Someren & Naarding, 1965).**

<b>Classificação do Sistema</b>	<b>Carga hidráulica de entrada (<math>he</math>), em m</b>
Muito bom	< 0,05
Bom	0,05 – 0,10
Moderado	0,10 – 0,25
Ruim	0,25 – 0,50
Intolerável	> 0,50

Dieleman & Trafford (1976) recomendam tomar em consideração os critérios propostos na Tabela 2, para avaliar o desempenho de um sistema de drenagem, supondo a profundidade dos tubos de drenagem de 1,8 m, o espaçamento de 50,0 m, a profundidade do nível freático um a dois dias após a irrigação de 1,0 m e a descarga de 4,0 mm.dia<sup>-1</sup>.

**Tabela 2 – Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) e da resistência de entrada ( $r_e$ ) (Dieleman & Trafford, 1976).**

Desempenho	Carga hidráulica de entrada, $h_e$ (m)	Resistência de entrada, $r_e$ (dia.m <sup>-1</sup> )
Bom	< 0,15	< 0,75
Regular	0,15 – 0,30	0,75 – 1,50
Ruim	0,30 – 0,45	1,50 – 2,25
Muito ruim	> 0,45	> 2,25

Ainda segundo Dieleman & Trafford (1976), recomenda-se tomar em consideração os valores constantes da Tabela 3, correspondentes à razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, para avaliação de um sistema de drenagem.

**Tabela 3. Desempenho de um sistema de drenagem em função da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ) (Dieleman & Trafford, 1976).**

Desempenho	Razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ )
Bom	< 0,20
Regular	0,20 – 0,40
Ruim	0,40 – 0,60
Muito ruim	> 0,60

Segundo Wesseling & van Someren (1972), outro critério proposto na avaliação do desempenho de sistemas drenantes leva em consideração os valores de resistência de entrada ( $r_e$ ) e do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ), tanto para as condições de campo como para pesquisas em laboratório, tendo como base uma descarga de 7,0 mm.dia<sup>-1</sup> e um espaçamento entre drenos de 15,0 m. Na Tabela 4 são apresentados os

**ANEXO 4 – Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com bidim R3.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	48,3	49,9	0,97	32,77	0,00739	0,19
46	46,9	48,3	0,97	28,95	0,00810	0,21
56	45,7	46,9	0,97	24,27	0,00944	0,25
70	44,5	45,7	0,97	20,31	0,01097	0,29
89	43,1	44,5	0,97	17,57	0,01237	0,33
114	41,8	43,1	0,97	15,27	0,01387	0,37
144	40,3	41,8	0,96	14,87	0,01359	0,36
179	38,6	40,3	0,96	13,97	0,01384	0,37
225	36,5	38,6	0,95	13,13	0,01397	0,37
281	34,3	36,5	0,94	11,64	0,01478	0,39
345	32,0	34,3	0,93	10,70	0,01499	0,40
421	29,5	32,0	0,92	9,65	0,01535	0,41
511	27,0	29,5	0,91	8,67	0,01559	0,41
621	24,1	27,0	0,89	7,71	0,01565	0,41
741	21,4	24,2	0,88	6,77	0,01583	0,42
891	18,1	21,6	0,84	5,66	0,01606	0,43
1071	15,6	19,1	0,81	4,58	0,01703	0,45
1311	8,8	16,4	0,53	3,57	0,01228	0,32
1671	6,5	13,6	0,48	2,54	0,01274	0,34
<b>Médias</b>	<b>31,7</b>	<b>34,4</b>	<b>0,89</b>	<b>13,29</b>	<b>0,01336</b>	<b>0,35</b>
<b>S</b>	<b>13,0</b>	<b>11,4</b>	<b>0,14</b>	<b>8,44</b>	<b>0,00272</b>	<b>0,07</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>41,0</b>	<b>33,2</b>	<b>16,05</b>	<b>63,47</b>	<b>20,38773</b>	<b>20,37</b>

**ANEXO 5 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com bidim R1.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	53,1	54,1	0,98	40,46	0,00656	0,17
46	52,4	53,1	0,99	39,52	0,00664	0,17
56	51,4	52,4	0,98	34,23	0,00751	0,20
70	50,4	51,4	0,98	30,87	0,00817	0,21
89	49,0	50,4	0,97	26,93	0,00910	0,24
114	47,4	49,0	0,97	24,60	0,00963	0,25
144	45,4	47,4	0,96	23,15	0,00981	0,26
179	43,2	45,4	0,95	21,80	0,00990	0,26
222	40,6	43,2	0,94	20,10	0,01009	0,27
278	37,6	40,6	0,93	18,21	0,01031	0,27
342	34,4	37,6	0,91	16,74	0,01026	0,27
418	30,8	34,4	0,90	15,08	0,01021	0,27
508	26,8	30,8	0,87	13,09	0,01022	0,27
618	22,7	27,5	0,82	11,08	0,01023	0,27
738	18,8	23,3	0,81	9,24	0,01018	0,27
888	12,8	20,1	0,63	7,43	0,00858	0,23
1068	10,3	17,1	0,60	5,76	0,00891	0,23
1308	8,1	14,1	0,57	4,20	0,00960	0,25
1668	6,0	11,6	0,51	2,73	0,01094	0,29
<b>Médias</b>	<b>33,7</b>	<b>37,0</b>	<b>0,86</b>	<b>19,22</b>	<b>0,00931</b>	<b>0,24</b>
<b>S</b>	<b>16,4</b>	<b>14,4</b>	<b>0,16</b>	<b>11,50</b>	<b>0,00127</b>	<b>0,03</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>48,6</b>	<b>38,8</b>	<b>18,44</b>	<b>59,83</b>	<b>13,67473</b>	<b>13,64</b>

**ANEXO 6 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com bidim R2.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
47	44,6	45,8	0,97	26,85	0,00833	0,22
57	43,6	44,8	0,97	22,97	0,00952	0,25
71	42,7	43,9	0,97	19,59	0,01091	0,29
90	41,7	42,9	0,97	17,26	0,01209	0,32
113	40,6	41,9	0,97	15,97	0,01271	0,34
141	39,4	40,8	0,97	14,70	0,01340	0,35
175	38,1	39,6	0,96	13,99	0,01360	0,36
215	36,6	38,3	0,95	13,07	0,01398	0,37
267	34,8	36,8	0,95	12,09	0,01438	0,38
325	32,6	35,0	0,93	11,26	0,01449	0,38
396	30,3	32,9	0,92	10,37	0,01463	0,39
479	27,9	30,6	0,91	9,49	0,01468	0,39
579	25,4	28,1	0,90	8,62	0,01474	0,39
696	22,9	25,6	0,89	7,60	0,01505	0,40
836	20,2	23,1	0,87	6,55	0,01543	0,41
1006	17,3	20,4	0,85	5,43	0,01596	0,42
1226	13,6	17,5	0,77	4,31	0,01570	0,42
1546	10,6	14,4	0,73	3,16	0,01681	0,45
1986	7,7	10,9	0,70	2,13	0,01805	0,48
<b>Médias</b>	<b>30,0</b>	<b>32,3</b>	<b>0,90</b>	<b>11,86</b>	<b>0,01392</b>	<b>0,37</b>
<b>S</b>	<b>11,8</b>	<b>10,9</b>	<b>0,08</b>	<b>6,67</b>	<b>0,00240</b>	<b>0,06</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>39,3</b>	<b>33,9</b>	<b>9,36</b>	<b>56,26</b>	<b>17,22306</b>	<b>17,20</b>

**ANEXO 7 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com bidim R3.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
40	47,2	48,3	0,98	26,18	0,00903	0,24
47	46,0	47,2	0,97	25,15	0,00915	0,24
57	44,9	46,0	0,97	21,27	0,01055	0,28
71	43,8	44,9	0,98	18,33	0,01195	0,32
89	42,7	43,8	0,97	16,07	0,01327	0,35
113	41,4	42,7	0,97	14,53	0,01429	0,38
141	40,1	41,4	0,97	13,75	0,01458	0,39
180	38,6	40,1	0,96	12,30	0,01568	0,42
229	36,9	38,6	0,96	11,43	0,01616	0,43
289	34,9	36,9	0,94	10,60	0,01646	0,44
357	33,0	34,9	0,94	9,92	0,01662	0,44
445	30,6	33,0	0,93	9,08	0,01686	0,45
545	28,1	30,6	0,92	8,34	0,01687	0,45
668	25,2	28,3	0,89	7,44	0,01692	0,45
808	22,1	25,7	0,86	6,54	0,01692	0,45
988	18,7	22,8	0,82	5,50	0,01704	0,45
1228	15,2	19,9	0,76	4,46	0,01710	0,45
1548	11,8	16,6	0,70	3,38	0,01752	0,46
1988	8,5	13,4	0,63	2,42	0,01789	0,47
<b>Médias</b>	<b>32,1</b>	<b>34,5</b>	<b>0,90</b>	<b>11,93</b>	<b>0,01499</b>	<b>0,40</b>
<b>S</b>	<b>12,2</b>	<b>10,8</b>	<b>0,10</b>	<b>6,95</b>	<b>0,00286</b>	<b>0,07</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>37,9</b>	<b>31,3</b>	<b>11,39</b>	<b>58,28</b>	<b>19,04851</b>	<b>19,05</b>

## ANEXO 8 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kanonet com bidim R1.

Tempo Acumulado (s)	$h_e$ (cm)	$h_{tot}$ (cm)	$h_e / h_{tot}$	$q$ ( $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ )	$re$ ( $dia \cdot m^{-1}$ )	$\alpha$
45	50,4	51,8	0,97	37,09	0,00681	0,18
54	48,9	50,4	0,97	30,92	0,00795	0,21
67	47,4	48,9	0,97	25,77	0,00922	0,25
84	45,7	47,4	0,96	22,91	0,00999	0,27
107	43,9	45,7	0,96	20,58	0,01067	0,29
135	42,1	43,9	0,96	18,22	0,01154	0,31
170	40,1	42,1	0,95	16,91	0,01186	0,32
213	37,8	40,1	0,94	15,58	0,01214	0,33
269	35,1	37,9	0,93	14,04	0,01250	0,33
333	32,2	35,1	0,92	12,69	0,01268	0,34
409	29,1	32,2	0,90	11,45	0,01274	0,34
499	26,1	29,2	0,89	10,16	0,01284	0,34
609	22,8	26,1	0,87	8,61	0,01325	0,35
729	19,8	22,8	0,87	7,34	0,01353	0,36
879	16,8	19,9	0,84	5,99	0,01401	0,38
1059	13,9	16,8	0,83	4,78	0,01454	0,39
1299	11,2	14,0	0,80	3,65	0,01534	0,41
1659	8,3	11,3	0,73	2,57	0,01613	0,43
2139	5,7	8,5	0,67	1,67	0,01701	0,46
<b>Médias</b>	<b>30,4</b>	<b>32,8</b>	<b>0,89</b>	<b>14,26</b>	<b>0,01236</b>	<b>0,33</b>
<b>S</b>	<b>14,7</b>	<b>14,1</b>	<b>0,09</b>	<b>9,84</b>	<b>0,00263</b>	<b>0,07</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>48,3</b>	<b>43,0</b>	<b>9,60</b>	<b>69,02</b>	<b>21,27774</b>	<b>21,36</b>

## ANEXO 9 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kanonet com bidim R2.

Tempo Acumulado (s)	$h_e$ (cm)	$h_{tot}$ (cm)	$h_e / h_{tot}$	$q$ ( $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ )	$re$ ( $dia \cdot m^{-1}$ )	$\alpha$
40	54,8	56,1	0,98	39,40	0,00708	0,19
47	53,4	54,8	0,97	36,42	0,00733	0,20
57	52,1	53,5	0,97	32,05	0,00814	0,22
71	50,7	52,2	0,97	27,27	0,00930	0,25
89	49,2	50,8	0,97	24,17	0,01017	0,27
113	47,6	49,2	0,97	22,13	0,01078	0,29
143	45,8	47,7	0,96	20,16	0,01136	0,30
178	43,7	45,8	0,95	18,66	0,01172	0,31
221	41,4	43,8	0,95	17,24	0,01200	0,32
274	38,7	41,4	0,93	15,83	0,01223	0,33
337	35,7	38,7	0,92	14,42	0,01239	0,33
411	32,7	35,8	0,91	13,09	0,01248	0,33
497	29,3	32,7	0,90	11,83	0,01240	0,33
607	25,6	29,3	0,87	10,11	0,01265	0,34
727	22,2	25,6	0,87	8,66	0,01282	0,34
877	18,7	22,2	0,84	7,22	0,01295	0,35
1057	15,3	18,7	0,82	5,76	0,01330	0,36
1297	12,1	15,3	0,79	4,27	0,01416	0,38
1657	8,2	12,2	0,67	2,89	0,01423	0,38
<b>Médias</b>	<b>35,6</b>	<b>38,2</b>	<b>0,91</b>	<b>17,45</b>	<b>0,01145</b>	<b>0,31</b>
<b>S</b>	<b>15,0</b>	<b>14,2</b>	<b>0,08</b>	<b>10,67</b>	<b>0,00213</b>	<b>0,06</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>42,1</b>	<b>37,1</b>	<b>8,90</b>	<b>61,12</b>	<b>18,60475</b>	<b>18,60</b>

**ANEXO 10 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com bidim R3.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	49,1	50,0	0,98	35,26	0,00700	0,19
46	48,2	49,1	0,98	32,08	0,00751	0,20
56	47,2	48,2	0,98	27,76	0,00851	0,23
70	46,3	47,2	0,98	23,63	0,00981	0,26
89	45,3	46,3	0,98	20,60	0,01100	0,29
114	44,0	45,3	0,97	18,46	0,01193	0,32
144	42,6	44,0	0,97	16,82	0,01267	0,34
179	40,9	42,6	0,96	16,08	0,01271	0,34
222	38,8	40,9	0,95	14,65	0,01323	0,35
278	36,2	38,8	0,93	13,19	0,01371	0,37
342	33,4	36,2	0,92	12,23	0,01364	0,37
418	30,5	33,4	0,91	11,13	0,01370	0,37
508	27,5	30,5	0,90	10,04	0,01371	0,37
618	24,5	27,5	0,89	8,87	0,01382	0,37
738	21,7	24,5	0,89	7,74	0,01405	0,38
888	18,6	21,7	0,86	6,52	0,01426	0,38
1068	15,6	18,6	0,84	5,32	0,01467	0,39
1308	12,3	15,6	0,79	4,06	0,01518	0,41
1668	8,5	12,4	0,69	2,76	0,01547	0,41
<b>Médias</b>	<b>33,2</b>	<b>35,4</b>	<b>0,91</b>	<b>15,12</b>	<b>0,01245</b>	<b>0,33</b>
<b>S</b>	<b>13,2</b>	<b>12,2</b>	<b>0,08</b>	<b>9,32</b>	<b>0,00253</b>	<b>0,07</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>39,6</b>	<b>34,5</b>	<b>8,44</b>	<b>61,65</b>	<b>20,30538</b>	<b>20,33</b>

**ANEXO 11 – Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com brita zero R1.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	51,6	53,0	0,97	104,29	0,00248	0,06
46	49,7	51,6	0,96	75,45	0,00330	0,08
56	47,8	49,7	0,96	64,47	0,00371	0,09
70	45,4	47,8	0,95	56,84	0,00400	0,10
89	42,5	45,4	0,94	51,67	0,00412	0,11
114	39,2	42,5	0,92	47,73	0,00411	0,11
144	35,6	39,2	0,91	42,85	0,00416	0,11
179	32,3	35,6	0,91	33,26	0,00497	0,13
222	28,8	32,3	0,89	29,20	0,00513	0,13
278	25,3	28,8	0,88	22,63	0,00564	0,15
342	22,2	25,3	0,88	17,70	0,00627	0,16
418	18,9	22,2	0,85	14,79	0,00641	0,17
508	16,0	18,9	0,85	11,93	0,00672	0,18
618	13,2	16,0	0,83	9,35	0,00708	0,19
738	10,9	13,2	0,82	7,38	0,00739	0,19
888	8,6	10,9	0,79	5,67	0,00761	0,20
1068	6,9	8,6	0,79	4,25	0,00807	0,21
1308	5,3	6,9	0,77	3,01	0,00872	0,23
1668	3,8	5,3	0,72	1,95	0,00963	0,25
<b>Médias</b>	<b>26,5</b>	<b>29,1</b>	<b>0,87</b>	<b>31,81</b>	<b>0,00576</b>	<b>0,15</b>
<b>S</b>	<b>16,3</b>	<b>16,4</b>	<b>0,07</b>	<b>28,74</b>	<b>0,00199</b>	<b>0,05</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>61,5</b>	<b>56,4</b>	<b>8,27</b>	<b>90,33</b>	<b>34,60466</b>	<b>34,75</b>

**ANEXO 12 – Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com brita zero R2.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	53,8	55,3	0,97	102,13	0,00272	0,07
46	52,5	53,8	0,98	74,98	0,00354	0,09
56	50,9	52,5	0,97	62,21	0,00414	0,11
70	49,1	50,9	0,96	48,09	0,00511	0,13
89	46,7	49,1	0,95	39,82	0,00586	0,15
114	43,5	46,7	0,93	34,14	0,00636	0,17
144	39,3	43,5	0,90	29,99	0,00654	0,17
179	35,3	39,3	0,90	26,50	0,00665	0,17
222	31,7	35,3	0,90	24,02	0,00660	0,17
278	28,5	31,7	0,90	21,49	0,00662	0,17
342	25,2	28,5	0,88	19,45	0,00647	0,17
418	22,0	25,2	0,87	16,94	0,00650	0,17
508	18,9	22,0	0,86	14,17	0,00669	0,17
618	15,9	18,9	0,84	11,32	0,00704	0,18
738	13,2	15,9	0,83	8,92	0,00741	0,19
888	10,7	13,2	0,81	6,72	0,00800	0,21
1068	8,5	10,7	0,80	4,95	0,00863	0,23
1308	6,6	8,5	0,78	3,46	0,00960	0,25
1668	4,8	6,6	0,73	2,17	0,01113	0,29
<b>Médias</b>	<b>29,3</b>	<b>32,0</b>	<b>0,88</b>	<b>29,02</b>	<b>0,00661</b>	<b>0,17</b>
<b>S</b>	<b>16,9</b>	<b>16,8</b>	<b>0,07</b>	<b>26,65</b>	<b>0,00197</b>	<b>0,05</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>57,7</b>	<b>52,6</b>	<b>8,01</b>	<b>91,81</b>	<b>29,78352</b>	<b>29,74</b>

**ANEXO 13 – Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com brita zero R3.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	52,5	54,2	0,97	97,10	0,00273	0,07
46	51,0	52,5	0,97	73,13	0,00350	0,09
56	49,5	51,0	0,97	61,13	0,00409	0,10
70	47,5	49,5	0,96	50,97	0,00478	0,12
89	45,1	47,5	0,95	42,44	0,00551	0,14
114	42,2	45,1	0,93	33,64	0,00629	0,16
144	39,0	42,2	0,92	29,08	0,00670	0,17
179	35,8	39,0	0,92	25,55	0,00700	0,18
222	32,6	35,8	0,91	22,39	0,00728	0,19
278	29,3	32,6	0,90	19,39	0,00757	0,20
342	26,1	29,3	0,89	16,67	0,00783	0,21
418	22,8	26,1	0,87	14,19	0,00804	0,21
508	19,6	22,8	0,86	11,94	0,00823	0,22
618	16,8	19,6	0,85	9,94	0,00845	0,22
738	14,5	16,8	0,87	8,18	0,00888	0,23
888	12,3	14,5	0,85	6,44	0,00959	0,25
1068	10,4	12,3	0,84	4,92	0,01054	0,28
1308	8,4	10,4	0,81	3,53	0,01195	0,32
1668	6,6	8,4	0,78	2,25	0,01467	0,39
<b>Médias</b>	<b>29,6</b>	<b>32,1</b>	<b>0,90</b>	<b>28,05</b>	<b>0,00756</b>	<b>0,20</b>
<b>S</b>	<b>15,7</b>	<b>15,6</b>	<b>0,06</b>	<b>26,19</b>	<b>0,00291</b>	<b>0,07</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>53,0</b>	<b>48,7</b>	<b>6,27</b>	<b>93,38</b>	<b>38,52192</b>	<b>38,55</b>

## ANEXO 14 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com brita zero R1.

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>h<sub>e</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>tot</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>e</sub> / h<sub>tot</sub></i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	52,8	54,5	0,97	85,36	0,00316	0,09
46	51,1	52,8	0,97	68,40	0,00377	0,10
56	49,3	51,1	0,96	60,10	0,00415	0,11
70	47,3	49,3	0,96	48,59	0,00492	0,13
89	44,4	47,3	0,94	42,61	0,00532	0,14
114	41,0	44,4	0,92	37,45	0,00566	0,15
144	37,4	41,0	0,91	33,87	0,00571	0,15
179	33,5	37,4	0,90	31,39	0,00562	0,15
222	29,5	33,5	0,87	27,75	0,00568	0,15
278	25,1	29,5	0,84	23,39	0,00564	0,15
342	21,9	25,1	0,87	19,94	0,00570	0,15
418	19,0	21,9	0,87	13,94	0,00680	0,18
508	16,3	19,0	0,86	11,55	0,00709	0,19
618	13,6	16,3	0,83	9,38	0,00726	0,20
738	11,3	13,6	0,84	7,56	0,00753	0,20
888	9,1	11,3	0,80	5,89	0,00775	0,21
1068	7,3	9,1	0,80	4,35	0,00843	0,23
1308	5,4	7,3	0,74	3,03	0,00897	0,24
1668	3,9	5,4	0,73	1,88	0,01045	0,28
<b>Médias</b>	<b>27,3</b>	<b>30,0</b>	<b>0,87</b>	<b>28,23</b>	<b>0,00630</b>	<b>0,17</b>
<b>S</b>	<b>16,9</b>	<b>17,0</b>	<b>0,07</b>	<b>24,03</b>	<b>0,00183</b>	<b>0,05</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>61,9</b>	<b>56,7</b>	<b>8,36</b>	<b>85,13</b>	<b>29,10964</b>	<b>29,14</b>

## ANEXO 15 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com brita zero R2.

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>h<sub>e</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>tot</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>e</sub> / h<sub>tot</sub></i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	53,7	55,4	0,97	96,52	0,00279	0,08
46	51,8	53,7	0,96	71,14	0,00365	0,10
56	49,9	51,8	0,96	54,04	0,00463	0,12
70	47,8	49,9	0,96	43,26	0,00553	0,15
89	45,3	47,8	0,95	37,41	0,00606	0,16
114	42,5	45,3	0,94	32,19	0,00661	0,18
144	39,7	42,5	0,93	29,61	0,00670	0,18
179	37,0	39,7	0,93	27,31	0,00679	0,18
222	34,1	37,0	0,92	24,64	0,00693	0,19
278	30,6	34,1	0,90	21,92	0,00698	0,19
342	26,8	30,6	0,88	19,12	0,00702	0,19
418	23,2	26,8	0,86	16,08	0,00721	0,19
508	19,6	23,2	0,85	13,35	0,00735	0,20
618	16,3	19,6	0,83	10,55	0,00775	0,21
738	13,7	16,5	0,83	8,48	0,00808	0,22
888	11,2	13,8	0,81	6,48	0,00864	0,23
1068	8,9	11,3	0,79	4,65	0,00954	0,26
1308	6,8	9,0	0,75	3,08	0,01098	0,29
1668	4,9	6,9	0,71	1,84	0,01335	0,36
<b>Médias</b>	<b>29,7</b>	<b>32,4</b>	<b>0,88</b>	<b>27,46</b>	<b>0,00719</b>	<b>0,19</b>
<b>S</b>	<b>16,5</b>	<b>16,3</b>	<b>0,08</b>	<b>24,78</b>	<b>0,00241</b>	<b>0,06</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>55,5</b>	<b>50,3</b>	<b>8,79</b>	<b>90,26</b>	<b>33,50370</b>	<b>33,50</b>



## ANEXO 16 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com brita zero R3.

Tempo Acumulado (s)	he (cm)	h tot (cm)	he / h tot	q (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	re (dia.m <sup>-1</sup> )	α
39	53,8	55,6	0,97	100,74	0,00269	0,07
46	52,2	53,8	0,97	75,91	0,00345	0,09
56	50,3	52,2	0,96	63,98	0,00395	0,11
70	48,0	50,3	0,95	55,62	0,00436	0,12
89	45,0	48,0	0,94	44,80	0,00509	0,14
114	40,8	45,0	0,91	36,97	0,00576	0,15
144	37,1	40,8	0,91	31,26	0,00615	0,17
179	34,1	37,1	0,92	25,47	0,00672	0,18
222	31,2	34,1	0,92	21,92	0,00713	0,19
278	27,7	31,2	0,89	18,46	0,00751	0,20
342	24,2	27,7	0,87	16,41	0,00738	0,20
418	21,1	24,2	0,87	14,37	0,00735	0,20
508	18,4	21,1	0,87	12,06	0,00762	0,20
618	15,7	18,4	0,85	9,87	0,00796	0,21
738	13,3	15,7	0,85	7,99	0,00832	0,22
888	11,1	13,3	0,83	6,22	0,0089	0,24
1068	9,0	11,1	0,82	4,77	0,00949	0,25
1308	7,0	9,0	0,78	3,45	0,01020	0,27
1668	5,1	7,0	0,72	2,21	0,01146	0,31
<b>Médias</b>	<b>28,7</b>	<b>31,3</b>	<b>0,88</b>	<b>29,08</b>	<b>0,00692</b>	<b>0,19</b>
<b>S</b>	<b>16,4</b>	<b>16,5</b>	<b>0,07</b>	<b>27,60</b>	<b>0,00232</b>	<b>0,06</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>57,3</b>	<b>52,6</b>	<b>7,52</b>	<b>94,93</b>	<b>33,51794</b>	<b>33,52</b>

## ANEXO 17 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com brita zero R1.

Tempo Acumulado (s)	he (cm)	h tot (cm)	he / h tot	q (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	re (dia.m <sup>-1</sup> )	α
39	53,5	54,8	0,98	113,95	0,00235	0,06
46	52,1	53,5	0,97	82,66	0,00315	0,08
56	50,4	52,1	0,97	68,86	0,00367	0,10
70	48,9	50,4	0,97	60,14	0,00407	0,11
89	46,8	48,9	0,96	47,47	0,00497	0,13
114	44,1	46,8	0,94	35,15	0,00628	0,17
144	40,7	44,1	0,92	30,37	0,00671	0,18
179	36,7	40,7	0,90	27,18	0,00675	0,18
222	32,7	36,7	0,89	24,09	0,00679	0,18
278	28,9	32,7	0,88	21,30	0,00678	0,18
342	25,6	28,9	0,89	19,11	0,00669	0,18
418	22,4	25,6	0,87	16,55	0,00676	0,18
508	19,1	22,4	0,85	13,92	0,00686	0,18
618	16,0	19,1	0,84	11,16	0,00717	0,19
738	13,2	16,0	0,82	8,77	0,00753	0,20
888	10,6	13,2	0,81	6,58	0,00808	0,22
1068	8,2	10,6	0,77	4,81	0,00856	0,23
1308	6,1	8,2	0,74	3,29	0,00931	0,25
1668	4,3	6,1	0,70	2,04	0,01048	0,28
<b>Médias</b>	<b>29,5</b>	<b>32,1</b>	<b>0,88</b>	<b>31,44</b>	<b>0,00647</b>	<b>0,17</b>
<b>S</b>	<b>17,0</b>	<b>16,8</b>	<b>0,08</b>	<b>30,45</b>	<b>0,00207</b>	<b>0,06</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>57,7</b>	<b>52,3</b>	<b>9,37</b>	<b>96,85</b>	<b>32,00534</b>	<b>32,04</b>

**ANEXO 18 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com brita zero R2.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	52,4	54,1	0,97	89,42	0,00295	0,08
46	50,5	52,4	0,96	71,71	0,00352	0,09
56	48,8	50,5	0,97	60,77	0,00403	0,11
70	46,7	48,8	0,96	49,60	0,00472	0,13
89	44,1	46,7	0,95	38,65	0,00571	0,15
114	41,4	44,1	0,94	32,39	0,00638	0,17
144	36,2	41,4	0,88	28,02	0,00647	0,17
179	32,3	36,2	0,89	25,12	0,00643	0,17
222	29,2	32,3	0,90	22,24	0,00656	0,18
278	26,2	29,2	0,90	19,65	0,00667	0,18
342	23,5	26,2	0,90	17,58	0,00668	0,18
418	20,8	23,5	0,88	15,25	0,00681	0,18
508	17,9	20,8	0,86	12,85	0,00696	0,19
618	15,0	17,9	0,84	10,24	0,00733	0,20
738	12,6	15,0	0,84	8,14	0,00776	0,21
888	10,1	12,6	0,80	6,34	0,00799	0,21
1068	8,0	10,1	0,79	4,58	0,00876	0,23
1308	6,1	8,0	0,76	3,19	0,00961	0,26
1668	4,3	6,1	0,70	2,02	0,01064	0,29
<b>Médias</b>	<b>27,7</b>	<b>30,3</b>	<b>0,88</b>	<b>27,25</b>	<b>0,00663</b>	<b>0,18</b>
<b>S</b>	<b>16,3</b>	<b>16,3</b>	<b>0,08</b>	<b>24,69</b>	<b>0,00194</b>	<b>0,05</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>58,7</b>	<b>53,7</b>	<b>8,64</b>	<b>90,61</b>	<b>29,28376</b>	<b>29,60</b>

**ANEXO 19 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com brita zero R3.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	54,2	55,3	0,98	100,57	0,00272	0,07
46	52,9	54,2	0,98	75,88	0,00350	0,09
56	51,4	52,9	0,97	64,43	0,00399	0,11
70	49,5	51,4	0,96	57,88	0,00429	0,11
89	46,9	49,5	0,95	51,03	0,00461	0,12
114	43,1	46,9	0,92	43,78	0,00498	0,13
144	38,5	43,1	0,89	38,23	0,00515	0,14
179	34,3	38,5	0,89	34,79	0,00513	0,14
222	30,6	34,3	0,89	28,48	0,00568	0,15
278	27,0	30,6	0,88	22,94	0,00607	0,16
342	23,9	27,0	0,88	17,64	0,00679	0,18
418	20,9	23,9	0,88	14,51	0,00722	0,19
508	18,3	20,9	0,88	11,91	0,00770	0,21
618	15,7	18,3	0,86	9,68	0,00813	0,22
738	13,4	15,7	0,85	7,89	0,00847	0,23
888	11,1	13,4	0,83	6,23	0,00888	0,24
1068	9,0	11,1	0,81	4,73	0,00949	0,25
1308	7,0	9,0	0,78	3,41	0,01033	0,28
1668	5,2	7,0	0,74	2,18	0,01205	0,32
<b>Médias</b>	<b>29,1</b>	<b>31,7</b>	<b>0,89</b>	<b>31,38</b>	<b>0,00659</b>	<b>0,18</b>
<b>S</b>	<b>16,9</b>	<b>16,9</b>	<b>0,07</b>	<b>27,98</b>	<b>0,00251</b>	<b>0,07</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>58,2</b>	<b>53,3</b>	<b>7,49</b>	<b>89,17</b>	<b>38,10011</b>	<b>38,74</b>

**ANEXO 20 – Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com espuma R1.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>h<sub>e</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>tot</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>e</sub> / h<sub>tot</sub></i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	54,0	55,8	0,97	53,73	0,00522	0,14
46	52,9	54,8	0,97	47,02	0,00563	0,15
56	51,7	53,2	0,97	41,09	0,00632	0,16
70	50,2	51,9	0,97	36,96	0,00685	0,18
89	48,3	50,6	0,96	32,16	0,00758	0,20
114	46,4	48,7	0,95	28,54	0,00816	0,21
144	43,9	46,7	0,94	26,10	0,00843	0,22
179	41,5	44,2	0,94	23,87	0,00870	0,23
222	38,6	41,6	0,93	21,95	0,00880	0,23
278	35,3	38,7	0,91	19,85	0,00889	0,23
342	31,7	35,4	0,90	18,11	0,00876	0,23
418	28,1	31,7	0,88	16,15	0,00869	0,23
508	24,2	28,1	0,86	14,04	0,00863	0,23
618	20,4	24,2	0,84	11,88	0,00857	0,23
738	16,9	20,4	0,83	9,90	0,00852	0,22
888	13,6	16,9	0,81	7,90	0,00861	0,23
1068	10,6	13,6	0,78	5,95	0,00893	0,23
1308	7,9	10,6	0,74	4,18	0,00941	0,25
1668	5,1	7,9	0,65	2,60	0,00988	0,26
<b>Médias</b>	<b>32,7</b>	<b>35,5</b>	<b>0,88</b>	<b>22,21</b>	<b>0,00814</b>	<b>0,21</b>
<b>S</b>	<b>16,5</b>	<b>16,1</b>	<b>0,09</b>	<b>14,73</b>	<b>0,00125</b>	<b>0,03</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>50,6</b>	<b>45,2</b>	<b>10,19</b>	<b>66,30</b>	<b>15,39948</b>	<b>15,38</b>

**ANEXO 21 – Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com espuma R2.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>h<sub>e</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>tot</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>e</sub> / h<sub>tot</sub></i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	57,2	58,3	0,98	52,01	0,00550	0,14
46	55,9	57,2	0,98	51,30	0,00545	0,14
56	54,6	55,9	0,98	42,93	0,00636	0,17
70	53,2	54,6	0,97	36,73	0,00724	0,19
89	51,5	53,2	0,97	32,27	0,00797	0,21
114	49,4	51,5	0,96	29,42	0,00840	0,22
144	46,9	49,4	0,95	27,12	0,00864	0,23
179	44,2	46,9	0,94	25,18	0,00878	0,23
222	41,1	44,2	0,93	23,12	0,00890	0,23
278	37,5	41,1	0,91	20,92	0,00897	0,24
342	33,9	37,5	0,90	18,96	0,00893	0,23
418	29,8	33,9	0,88	16,96	0,00879	0,23
508	25,9	29,8	0,87	14,67	0,00883	0,23
618	21,9	25,9	0,85	12,38	0,00886	0,23
738	18,4	21,9	0,84	10,12	0,00908	0,24
888	15,0	18,4	0,81	8,03	0,00933	0,25
1068	12,0	15,0	0,80	6,02	0,01000	0,26
1308	9,3	12,0	0,77	4,21	0,01105	0,29
1668	6,2	9,3	0,66	2,64	0,01165	0,31
<b>Médias</b>	<b>34,9</b>	<b>37,7</b>	<b>0,89</b>	<b>22,89</b>	<b>0,00856</b>	<b>0,22</b>
<b>S</b>	<b>17,3</b>	<b>16,6</b>	<b>0,09</b>	<b>15,02</b>	<b>0,00159</b>	<b>0,04</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>49,4</b>	<b>44,0</b>	<b>9,76</b>	<b>65,62</b>	<b>18,53630</b>	<b>18,55</b>

**ANEXO 22 – Parâmetros hidráulicos do sistema Drenoflex com espuma R3.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	56,2	57,6	0,98	52,29	0,00543	0,14
46	55,0	56,2	0,98	48,32	0,00570	0,15
56	53,7	55,0	0,98	39,49	0,00681	0,18
70	52,3	53,7	0,97	34,70	0,00755	0,20
89	50,6	52,3	0,97	31,09	0,00815	0,21
114	48,7	50,6	0,96	27,40	0,00889	0,23
144	46,5	48,7	0,96	25,50	0,00913	0,24
179	44,3	46,5	0,95	23,80	0,00930	0,24
222	41,5	44,3	0,94	21,73	0,00956	0,25
278	38,3	41,5	0,92	19,81	0,00967	0,25
342	34,7	38,3	0,91	18,24	0,00952	0,25
418	31,1	34,7	0,89	16,14	0,00962	0,25
508	27,2	31,1	0,88	14,14	0,00963	0,25
618	23,3	27,2	0,86	11,83	0,00986	0,26
738	19,9	23,3	0,85	9,84	0,01010	0,27
888	16,2	19,9	0,82	7,69	0,01055	0,28
1068	12,8	16,5	0,77	5,75	0,01110	0,29
1308	7,5	13,6	0,55	4,05	0,00927	0,24
1668	5,2	11,0	0,47	2,53	0,01028	0,27
<b>Médias</b>	<b>35,0</b>	<b>38,0</b>	<b>0,87</b>	<b>21,81</b>	<b>0,00895</b>	<b>0,24</b>
<b>S</b>	<b>16,9</b>	<b>15,6</b>	<b>0,14</b>	<b>14,42</b>	<b>0,00156</b>	<b>0,04</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>48,2</b>	<b>40,9</b>	<b>16,25</b>	<b>66,10</b>	<b>17,38657</b>	<b>17,40</b>

**ANEXO 23 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com espuma R1.**

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>he (cm)</i>	<i>h tot (cm)</i>	<i>he / h tot</i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	57,7	58,7	0,98	28,20	0,01026	0,28
46	56,6	57,7	0,98	27,08	0,01053	0,28
56	55,6	56,6	0,98	22,78	0,01222	0,33
70	54,5	55,6	0,98	20,95	0,01301	0,35
89	53,3	54,5	0,98	19,32	0,01379	0,37
114	51,9	53,3	0,97	17,61	0,01473	0,40
144	50,3	51,9	0,97	16,68	0,01510	0,40
179	48,6	50,3	0,97	15,84	0,01536	0,41
222	46,9	48,6	0,96	15,23	0,01540	0,41
278	44,7	46,9	0,95	14,19	0,01576	0,42
342	42,3	44,7	0,95	13,38	0,01583	0,42
418	39,8	42,3	0,94	12,57	0,01584	0,42
508	36,3	39,8	0,91	11,84	0,01536	0,41
618	32,9	36,3	0,90	10,77	0,01527	0,41
738	29,3	32,9	0,89	9,72	0,01510	0,40
888	25,4	29,4	0,86	8,55	0,01486	0,40
1068	21,4	25,5	0,84	7,33	0,01462	0,39
1308	17,3	21,8	0,80	6,02	0,01436	0,39
1668	12,6	17,7	0,71	4,50	0,01400	0,38
<b>Médias</b>	<b>40,9</b>	<b>43,4</b>	<b>0,92</b>	<b>14,87</b>	<b>0,01428</b>	<b>0,38</b>
<b>S</b>	<b>14,1</b>	<b>12,8</b>	<b>0,07</b>	<b>6,67</b>	<b>0,00167</b>	<b>0,04</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>34,6</b>	<b>29,6</b>	<b>8,05</b>	<b>44,86</b>	<b>11,66755</b>	<b>11,66</b>

## ANEXO 24 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com espuma R2.

Tempo Acumulado (s)	he (cm)	h tot (cm)	he / h tot	q (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	re (dia.m <sup>-1</sup> )	$\alpha$
39	56,2	56,9	0,99	35,29	0,00797	0,21
46	55,3	56,2	0,98	29,96	0,00923	0,25
56	54,2	55,3	0,98	25,82	0,01050	0,28
70	53,2	54,2	0,98	23,36	0,01139	0,31
89	51,8	53,2	0,97	21,34	0,01215	0,33
114	50,4	51,8	0,97	19,88	0,01267	0,34
144	48,7	50,4	0,97	18,71	0,01303	0,35
179	47,0	48,8	0,96	17,80	0,01319	0,35
222	45,0	47,1	0,96	16,90	0,01333	0,36
278	42,5	45,1	0,94	15,70	0,01355	0,36
342	39,9	42,7	0,94	14,67	0,01360	0,36
418	36,7	40,1	0,92	13,59	0,01351	0,36
508	33,4	37,2	0,90	12,46	0,01341	0,36
618	29,8	34,2	0,87	11,15	0,01336	0,36
738	24,8	30,5	0,82	9,79	0,01269	0,34
888	22,2	26,6	0,83	8,39	0,01321	0,35
1068	18,7	23,3	0,80	6,92	0,01349	0,36
1308	15,1	19,7	0,77	5,37	0,01403	0,38
1668	11,4	16,0	0,71	3,71	0,01533	0,41
<b>Médias</b>	<b>38,8</b>	<b>41,5</b>	<b>0,91</b>	<b>16,36</b>	<b>0,01261</b>	<b>0,34</b>
S	14,6	13,1	0,08	8,36	0,00174	0,05
C.V. (%)	37,7	31,6	9,23	51,08	13,80528	13,83

## ANEXO 25 – Parâmetros hidráulicos do sistema PVC liso com espuma R3.

Tempo Acumulado (s)	he (cm)	h tot (cm)	he / h tot	q (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	re (dia.m <sup>-1</sup> )	$\alpha$
39	58,5	59,2	0,99	31,09	0,00963	0,26
46	57,7	58,5	0,99	23,97	0,01209	0,32
56	56,8	57,7	0,98	20,41	0,01395	0,37
70	55,8	56,8	0,98	18,02	0,01551	0,42
89	54,9	55,8	0,98	16,09	0,01708	0,46
114	53,9	54,9	0,98	15,25	0,01768	0,47
144	52,7	53,9	0,98	14,67	0,01799	0,48
179	51,4	52,7	0,97	14,04	0,01831	0,49
222	49,9	51,4	0,97	13,39	0,01863	0,50
278	47,8	49,9	0,96	12,65	0,01890	0,51
342	45,6	47,8	0,95	12,18	0,01871	0,50
418	43,1	45,7	0,94	11,49	0,01876	0,50
508	40,2	43,2	0,93	10,80	0,01863	0,50
618	36,9	40,5	0,91	10,06	0,01833	0,49
738	33,5	37,2	0,90	9,29	0,01801	0,48
888	29,7	34,0	0,87	8,36	0,01776	0,48
1068	25,5	30,5	0,83	7,42	0,01715	0,46
1308	20,8	26,3	0,79	6,27	0,01662	0,45
1668	15,6	22,2	0,70	4,89	0,01595	0,43
<b>Médias</b>	<b>43,7</b>	<b>46,2</b>	<b>0,93</b>	<b>13,70</b>	<b>0,01683</b>	<b>0,45</b>
S	13,3	11,5	0,08	6,37	0,00250	0,07
C.V. (%)	30,3	24,8	8,49	46,51	14,83286	14,85

## ANEXO 26 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com espuma R1.

Tempo Acumulado (s)	he (cm)	h tot (cm)	he / h tot	q (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	re (dia.m <sup>-1</sup> )	α
39	54,9	56,3	0,98	62,45	0,00443	0,12
46	53,5	54,9	0,98	52,19	0,00513	0,14
56	52,1	53,5	0,97	46,40	0,00562	0,15
70	50,4	52,1	0,97	41,25	0,00611	0,16
89	48,4	50,4	0,96	37,31	0,00649	0,17
114	46,3	48,4	0,96	33,55	0,00691	0,19
144	43,8	46,3	0,95	30,31	0,00727	0,19
179	40,8	43,8	0,93	28,45	0,00723	0,19
222	37,5	40,8	0,92	25,29	0,00745	0,20
278	33,8	37,5	0,90	20,81	0,00813	0,22
342	30,3	33,8	0,90	18,67	0,00813	0,22
418	26,6	30,3	0,88	16,44	0,00811	0,22
508	22,7	26,6	0,85	14,05	0,00809	0,22
618	19,1	22,7	0,84	11,63	0,00825	0,22
738	16,4	19,1	0,86	9,22	0,00891	0,24
888	13,6	16,4	0,83	7,08	0,00963	0,26
1068	11,2	13,6	0,82	5,46	0,01022	0,27
1308	8,7	11,2	0,78	3,92	0,01106	0,30
1668	6,3	8,7	0,73	2,49	0,01273	0,34
<b>Médias</b>	<b>32,4</b>	<b>35,1</b>	<b>0,90</b>	<b>24,58</b>	<b>0,00789</b>	<b>0,21</b>
S	16,6	16,2	0,07	17,41	0,00204	0,06
C.V. (%)	51,1	46,1	8,15	70,85	25,89868	26,00

## ANEXO 27 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com espuma R2.

Tempo Acumulado (s)	he (cm)	h tot (cm)	he / h tot	q (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	re (dia.m <sup>-1</sup> )	α
39	55,6	58,3	0,95	55,63	0,00506	0,14
46	53,6	56,4	0,95	50,45	0,00531	0,14
56	51,2	54,3	0,94	44,23	0,00579	0,16
70	49,3	52,8	0,94	38,48	0,00644	0,17
89	47,5	51,4	0,92	33,20	0,00716	0,19
114	45,2	49,1	0,92	29,32	0,00772	0,21
144	42,7	47,2	0,90	27,17	0,00786	0,21
179	39,8	44,6	0,89	25,01	0,00798	0,21
222	36,5	41,8	0,87	22,90	0,00797	0,21
278	33,0	38,7	0,85	20,54	0,00803	0,22
342	29,3	35,2	0,83	18,61	0,00786	0,21
418	25,4	31,7	0,80	16,53	0,00768	0,21
508	21,7	27,9	0,78	14,37	0,00755	0,20
618	17,9	24,0	0,74	11,79	0,00757	0,20
738	14,9	20,1	0,74	9,67	0,00768	0,21
888	11,4	17,7	0,65	7,62	0,00747	0,20
1068	8,9	14,0	0,64	5,77	0,00767	0,21
1308	6,5	11,0	0,60	3,91	0,00831	0,22
1668	4,4	8,5	0,52	2,49	0,00877	0,23
<b>Médias</b>	<b>31,3</b>	<b>36,0</b>	<b>0,81</b>	<b>23,04</b>	<b>0,00736</b>	<b>0,20</b>
S	17,2	16,4	0,13	15,70	0,00100	0,03
C.V. (%)	54,9	45,6	16,18	68,16	13,56892	13,17

## ANEXO 28 – Parâmetros hidráulicos do sistema Kananet com espuma R3.

<i>Tempo Acumulado (s)</i>	<i>h<sub>e</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>tot</sub> (cm)</i>	<i>h<sub>e</sub> / h<sub>tot</sub></i>	<i>q (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>re (dia.m<sup>-1</sup>)</i>	<i>α</i>
39	52,3	53,5	0,98	56,31	0,00468	0,13
46	51,0	52,3	0,98	52,32	0,00488	0,13
56	49,7	51,0	0,97	44,54	0,00563	0,15
70	48,4	49,7	0,98	35,75	0,00681	0,18
89	47,0	48,4	0,97	30,84	0,00763	0,20
114	45,3	47,0	0,97	27,43	0,00827	0,22
144	43,6	45,3	0,96	25,28	0,00863	0,23
179	41,4	43,6	0,95	23,76	0,00872	0,23
222	38,8	41,4	0,94	21,75	0,00893	0,24
278	35,4	38,8	0,91	19,83	0,00894	0,24
342	32,0	35,4	0,90	17,80	0,00900	0,24
418	28,5	32,0	0,89	15,88	0,00899	0,24
508	24,9	28,5	0,87	13,72	0,00908	0,24
618	21,1	24,9	0,85	11,47	0,00920	0,25
738	17,9	21,1	0,85	9,47	0,00947	0,25
888	14,5	17,9	0,81	7,49	0,00969	0,26
1068	12,0	14,6	0,82	5,70	0,01056	0,28
1308	9,4	12,1	0,77	3,98	0,01176	0,31
1668	6,0	9,4	0,64	2,51	0,01199	0,32
<b>Médias</b>	<b>32,6</b>	<b>35,1</b>	<b>0,90</b>	<b>22,41</b>	<b>0,00857</b>	<b>0,23</b>
<b>S</b>	<b>15,5</b>	<b>14,7</b>	<b>0,09</b>	<b>15,79</b>	<b>0,00198</b>	<b>0,05</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>47,5</b>	<b>42,0</b>	<b>10,07</b>	<b>70,46</b>	<b>23,11655</b>	<b>22,85</b>

valores de resistência de entrada ( $re$ ) e do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) para diferentes condutividades do solo.

**Tabela 4 – Resistência de entrada ( $re$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) como critérios de desempenho de drenos (Wesseling & van Someren, 1972).**

Desempenho	Resistência de entrada ( $re$ ), ( $\text{dia}\cdot\text{m}^{-1}$ )	Valores máximos do fator de resistência ( $\alpha$ ) para diferentes condutividades do solo K, ( $\text{m}\cdot\text{dia}^{-1}$ )			
		0,25	0,50	1,00	2,00
Muito bom	< 0,475	0,12	0,24	0,48	0,92
Bom	0,475 – 0,950	0,24	0,48	0,95	1,90
Moderado	0,950 – 2,400	0,60	1,20	2,40	4,80
Ruim	2,400 – 4,750	1,20	2,40	4,80	9,60
Intolerável	> 4,750	-	-	-	-

Smedema & Rycroft (1983) sugerem como limites para valores do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) aqueles indicados na Tabela 5.

**Tabela 5. Limites para os valores do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) \***

Tipo de material drenante	Fator de resistência de entrada ( $\alpha$ )
Argila e concreto	0,4 – 2,0
Plástico liso	0,4 – 0,6
Plástico corrugado	0,05 – 0,1

\* Fonte: Smedema & Rycroft (1983).



### **3.0 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 - Modelo Físico**

O trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal da Paraíba (Campus II, DEAg-CCT). Usando-se um modelo físico composto de nove tanques construídos de alvenaria e impermeabilizados internamente com um produto líquido e viscoso à base de tinta betuminosa. Cada tanque medindo 0,8 m de comprimento, 1,0 m de largura e 0,9 m de altura (Anexos 1A e 1B), aplicável a uma condição de fluxo bidimensional tal como a condição mais usual de campo, foi construído baseado no modelo usado por Broughton *et al.*(1987).

Na parede frontal da parte externa de cada tanque foram instaladas três mangueiras plásticas transparentes e flexíveis acopladas ao sistema de drenagem, funcionando como um sistema de vasos comunicantes, que serviram para avaliar as cargas hidráulicas no interior e na vizinhança do sistema de drenagem.

Os tanques eram abastecidos por um reservatório de cimento amianto com capacidade de 1.000 l, com bóia para manter constante o nível da água no reservatório. A água era distribuída de forma controlada aos tanques mediante um pequeno sistema hidráulico constituído de tubos de PVC de 20 mm. Cada tanque dispunha de um registro de passagem conectado a uma vela de filtro. Foi instalada uma vela comum para filtro doméstico, na profundidade intermediária de cada tanque, utilizada para saturar o meio poroso de forma lenta, a fim de expulsar o ar.

### 3.2 - Meio Poroso

O meio poroso utilizado como material base nos ensaios constituiu-se de areia seca ao ar, cessada em uma peneira de malha com abertura de 2,0 mm, pesada e distribuída nos tanques, aleatoriamente, em camadas de 0,08 m até a obtenção de 900 kg, equivalente a um volume de 0,64 m<sup>3</sup> por tanque e uma espessura de 0,8 m. O material utilizado no enchimento dos tanques não é expansivo e não promove variabilidade na condutividade hidráulica durante o período de observações, tal qual o que se recomenda para os testes. A condutividade hidráulica do material poroso usado no experimento foi de 26,78 m.dia<sup>-1</sup>, determinada em laboratório através da Equação 1 sob condições de regime permanente.

Quanto à porosidade drenável ( $\mu$ ), para a determinação desta variável utilizou-se a equação baseada na densidade global, densidade das partículas e umidade volumétrica à capacidade de campo, conforme abaixo:

$$\mu = \left(1 - \frac{dg}{dr}\right) - \theta_{cc} \quad (3)$$

em que:

$\mu$  = porosidade drenável, adimensional;

$dg$  = densidade global, em g.cm<sup>-3</sup>;

$dr$  = densidade real, em g.cm<sup>-3</sup>;

$\theta_{cc}$  = teor de umidade do solo na capacidade de campo, em cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>.

A Tabela 6 mostra o resultado da distribuição granulométrica do meio poroso utilizado, a partir das análises físico-hídricas determinadas pelos Laboratórios de Mecânica dos Solos e de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal da Paraíba, com as metodologias descritas pela Embrapa (1979) e ABNT (1995).

**Tabela 6 - Características físico-hídricas do material poroso utilizado.**

Areia grossa (g.kg <sup>-1</sup> )	210,00
Areia fina (g.kg <sup>-1</sup> )	750,00
Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	20,00
Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	20,00
Classificação textural	Areia
Densidade global (kg.dm <sup>-3</sup> )	1,40
Densidade real (kg.dm <sup>-3</sup> )	2,60
Porosidade total (%)	46,15
Capacidade de campo – 10 kPa (g.kg <sup>-1</sup> )	24,10
Ponto de murcha – 1.500 kPa (g.kg <sup>-1</sup> )	16,50
Porosidade drenável (%)	42,78
Condutividade hidráulica (m.dia <sup>-1</sup> )	26,78

Fontes: Laboratórios de Mecânica dos Solos e de Irrigação e Salinidade (UFPB).

### 3.3 - Sistemas Drenantes

Cada sistema drenante foi composto de um tubo com comprimento de 0,6 m e um tipo de envoltório, disposto horizontalmente, centralizado e nivelado a 10,0 cm do fundo do tanque. Foram avaliados nove sistemas drenantes e por se dispor de apenas nove tanques, o experimento ocorreu em três etapas, onde em cada etapa eram testados três diferentes tubos e um único material envoltório, cada um com três repetições.

Na primeira etapa avaliou-se os sistemas compostos pelos tubos Drenoflex, tubo de PVC liso e Kananet usando como envoltório o material bidim OP-20. Na etapa seguinte, os tubos foram envelopados com a brita zero e na última etapa utilizou-se como envoltório uma espuma sintética de 5,0 mm de espessura.

Os tubos Drenoflex e Kananet são materiais convencionalmente usados na drenagem, sendo o Drenoflex um tubo de 65,0 mm de diâmetro nominal com corrugações paralelas e o Kananet um tubo de 75,0 mm de diâmetro nominal, com distribuição uniforme dos furos por todo o perímetro das corrugações de forma helicoidal. O tubo de PVC liso com diâmetro nominal de 50,0 mm é convencionalmente usado para esgoto. Nesta pesquisa, este tipo de tubo foi utilizado como material alternativo.

Nos tubos de PVC liso foram feitos 729 furos distribuídos em 9 filas, distanciados um do outro em aproximadamente 12,0 mm na longitudinal, de tal forma que uma unidade métrica de tubo dispusesse de 23,0 cm<sup>2</sup> de área aberta total. Os furos foram produzidos por meio de brocas de 2,0 mm de diâmetro, utilizando-se um procedimento manual. Na Tabela 7 encontram-se as especificações dos materiais drenantes.

**Tabela 7 - Características dos materiais drenantes utilizados.**

<b>Materiais drenantes</b>	<b>Diâmetro Nominal (mm)</b>	<b>Área de entrada (cm<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup>)</b>
Drenoflex	65,0	23,0
PVC liso	50,0	23,0
Kananet	75,0	110,0

Os materiais envoltórios bidim e espuma foram fixados nos tubos por meio de amarração manual sob a forma de espiral, com linhas de nylon de 0,5 mm de espessura, tal como se processa usualmente. A espuma com 5,0 mm de espessura, utilizada nesta pesquisa como material envoltório alternativo, constitui-se de um material sintético à base de poliuretano com diversas aplicações.

Na etapa em que se utilizou a brita zero como material envoltório, foi necessário o uso de duas chapas de Duraplac com as dimensões de 0,76 x 0,35 x 0,03 m, distanciadas a 0,10 m a partir do tubo drenante, que serviram de gabarito na colocação deste envoltório. Todos os tratamentos receberam um volume de 0,050 m<sup>3</sup> do envoltório, ficando este com uma espessura de 0,10 m, envolvendo todo o tubo drenante. Após atingir a espessura predeterminada, o gabarito foi, cuidadosamente, retirado e complementando-se o volume do material poroso.

### **3.4 - Tratamentos**

Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial com três tipos de tubos, Drenoflex, Kananet e tubo de PVC liso próprio para Esgoto e três materiais envoltórios, bidim OP-20, brita zero e espuma. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os nove tratamentos são apresentados a seguir:

- Tratamento 1 = Tubo Drenoflex envolvido com bidim;  
 Tratamento 2 = Tubo de PVC liso envolvido com bidim;  
 Tratamento 3 = Tubo Kanonet envolvido com bidim;  
 Tratamento 4 = Tubo Drenoflex envolvido com brita zero;  
 Tratamento 5 = Tubo de PVC liso envolvido com brita zero;  
 Tratamento 6 = Tubo Kanonet envolvido com brita zero;  
 Tratamento 7 = Tubo Drenoflex envolvido com espuma;  
 Tratamento 8 = Tubo de PVC liso envolvido com espuma;  
 Tratamento 9 = Tubo Kanonet envolvido com espuma

Cada tratamento foi disposto de maneira aleatória. A Tabela 8 mostra a distribuição dos tratamentos nos tanques em suas respectivas etapas.

**Tabela 8 – Distribuição dos tratamentos nos tanques.**

Etapas	Tanques de drenagem								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Primeira – Bidim	T3	T2	T1	T3	T3	T1	T2	T1	T2
Segunda- Brita zero	T5	T6	T4	T5	T6	T4	T5	T4	T6
Terceira – Espuma	T8	T7	T8	T9	T7	T9	T7	T9	T8

### 3.5 - Variáveis Avaliadas

#### 3.5.1 - Carga Hidráulica de Entrada ( $h_e$ ) e Carga Hidráulica Total ( $h_{tot}$ )

A carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) e a carga hidráulica total ( $h_{tot}$ ) foram avaliadas mediante uma régua graduada instalada paralelamente aos piezômetros, localizada na parte externa do modelo físico. Para a carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) tomou-se uma leitura direta do nível d'água no piezômetro inserido no sistema drenante. Para a carga hidráulica total ( $h_{tot}$ ) foi tomada uma leitura nos piezômetros localizados nas laterais do sistema drenante.

### 3.5.2 - Razão entre as Cargas Hidráulicas de Entrada e Total ( $he/htot$ )

Adotou-se uma razão entre os valores da carga hidráulica de entrada ( $he$ ) e da carga hidráulica total ( $htot$ ), mediante a seguinte equação:

$$he / htot = \frac{he}{htot} \quad (4)$$

em que:

$he/htot$  = razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, adimensional;

$he$  = carga hidráulica de entrada, em m;

$htot$  = carga hidráulica total, em m.

### 3.5.3 - Fluxo ( $q$ )

O fluxo foi avaliado através de medida direta no ponto de descarga de cada tanque. O teste era realizado quando o material poroso encontrava-se encharcado, o qual era constatado pelo posicionamento dos níveis hidráulicos nos piezômetros. Neste momento, o dreno era aberto, individualmente, de modo que houvesse o rebaixamento do nível freático e fossem feitas as medições das cargas hidráulicas de entrada e total e a coleta do volume d'água em intervalos de tempo de descarga. Procedeu-se desta maneira até que fosse verificada uma descarga mínima em cada sistema drenante. O tempo de descarga durou, em média, 1 hora e 30 minutos por tanque. Recipientes plásticos (baldes) foram utilizados para recolher o volume drenado, que eram posteriormente pesados em uma balança eletrônica (HP-20K) com resolução de 0,1g e capacidade máxima para 21,0 kg, transformando-se o resultado em volume. O registro do tempo de descarga foi marcado com um cronômetro digital, sendo que o intervalo de tempo entre uma leitura e outra foi de 3 minutos. Na determinação desta variável adotou-se a seguinte equação:

$$q = 86.400 \frac{V}{t} * 2 \quad (5)$$

em que:

$q$  = fluxo, em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ ;

$V$  = volume de água coletado, em  $m^3$ ;

$t$  = tempo de coleta do volume d'água, em s;

$2$  = fator de ajuste, porque  $q$  é a descarga por unidade de comprimento de dreno e considerou-se 0,5 m de comprimento útil do tubo drenante.

### 3.5.4 - Resistência de Entrada ( $re$ )

Quando se trata de avaliar o rendimento de tubo de drenagem, a componente resistência de entrada constitui um parâmetro importante como valor independente e como fração da carga hidráulica total. Esta variável foi calculada mediante a seguinte equação, sugerida por Wesseling e van Someren (1972) :

$$re = \frac{he}{q * L} \quad (6)$$

em que:

$re$  = resistência de entrada, em dia. $m^{-1}$ ;

$he$  = carga hidráulica na entrada, em m;

$q$  = descarga do dreno, em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ ;

$L$  = comprimento do sistema drenante, em m.

### 3.5.5 – Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Drenagem

A avaliação do desempenho dos sistemas de drenagem, considerando as variáveis carga hidráulica de entrada ( $he$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ) e resistência de entrada ( $re$ ), foi feita com base nos critérios apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, propostos por Wesseling e van Someren (1972) e Dieleman & Trafford (1976), respectivamente.

### 3.5.6 - Fator de Resistência de Entrada ( $\alpha$ )

Para a determinação desta variável adotou-se a seguinte equação, conforme sugestão de Wesseling & van Someren (1972).

$$\alpha = re * K \quad (7)$$

em que:

$\alpha$  = fator de resistência de entrada, adimensional;

$re$  = resistência de entrada, em dia.m<sup>-1</sup>;

$K$  = condutividade hidráulica do meio poroso, em m.dia<sup>-1</sup>.

### 3.6 - Procedimento de Análise Estatística

Os dados referentes a carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ), resistência de entrada ( $re$ ) e fluxo ( $q$ ) foram relacionadas e analisadas estatisticamente, com o propósito de avaliar o efeito dos tratamentos nos parâmetros hidráulicos, mediante o emprego das médias aritméticas, conforme sugestões apresentadas por Dieleman & Trafford (1976).



## **4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 – Variáveis Avaliadas**

Os Anexos 2 a 28 apresentam os resultados das variáveis carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ), carga hidráulica total ( $h_{tot}$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ), fluxo ( $q$ ), resistência de entrada ( $r_e$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) usadas na avaliação dos sistemas de drenagem testados.

#### **4.1.1 – Carga Hidráulica de Entrada ( $h_e$ )**

Os resultados da análise estatística da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) apresentados na Tabela 9, mostram que houve diferença significativa tanto entre os materiais drenantes avaliados (5% de probabilidade), como entre os materiais envoltórios (1% de probabilidade) e interação entre materiais drenantes e envoltórios (1% de probabilidade), mostrando que o efeito dos materiais drenantes na carga hidráulica de entrada depende do envoltório e, vice-versa os efeitos do envoltório nesta variável depende do tipo de tubo utilizado. O coeficiente de variação foi de 6,11%, indicando uma ótima precisão experimental, segundo Ferreira (1991).

**Tabela 9. Resumo da ANOVA das variáveis carga hidráulica de entrada (*he*), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total (*he/htot*), resistência de entrada (*re*) e fluxo (*q*).**

Causas de variação	Variáveis			
	<i>he</i> (m)	<i>he/htot</i>	<i>re</i> (dia.m <sup>-1</sup> )	<i>q</i> (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )
	Teste F			
Material drenante	5,6682 *	0,7778 ns	8,5130 **	9,0260 **
Material envoltório	30,4884 **	0,1756 ns	35,5976 **	126,8944 **
Material drenante x Mat. Envoltório	6,5081 **	1,2348 ns	5,6941 **	4,1394 *
Q M do Resíduo	0,0004	0,0010	0,0000	3,8737
Coefficiente de variação (%)	6,1157	3,6315	14,6695	9,2007

(\*) significativo a 5% e (\*\*) a 1% de probabilidade; (ns) não significativo.

Como a interação foi significativa, comparou-se as médias dos níveis dos diferentes fatores através do teste de Tuckey (Tabela 10). Nesta tabela, pode-se verificar que o sistema drenante constituído pelo tubo de PVC liso apresentou comportamento similar aos tubos Drenoflex e Kanonet, com o uso dos envoltórios de bidim e brita zero. Para o envoltório de espuma a carga hidráulica foi significativamente maior para o tubo liso.

Constatou-se que os menores valores da carga hidráulica de entrada foram obtidos quando se utilizou o envoltório de brita zero. Isto pode ser justificado pela espessura de 10,0 cm desse material envolvendo todo o sistema drenante e por sua granulometria uniforme, permitindo que ocorressem reduzidas perdas de carga na entrada do sistema. De acordo com os critérios propostos por Dieleman & Trafford (1976), todos os sistemas apresentaram desempenhos regulares. Os resultados da carga hidráulica na entrada obtidos nesta pesquisa concordam com os de Gonzaga (1994).

**Tabela 10. Valores Médios da carga hidráulica na entrada (*he*), em m, em relação aos materiais drenantes *versus* materiais envoltórios.**

Materiais Drenantes	Envoltórios		
	Bidim	Brita zero	Espuma
Drenoflex	0,3053 ab A	0,2847 b A	0,3420 a B
PVC liso	0,3193 b A	0,2857 b A	0,4113 a A
Kanonet	0,3307 a A	0,2877 b A	0,3210 ab B
<b>DMS (5%)</b>	0,0409	0,0409	0,0409

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si a 5%.  
Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5%.

#### 4.1.2 – Razão entre as Cargas Hidráulicas de Entrada e Total ( $he/htot$ )

Com referência à razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ), a análise da variância mostrada na Tabela 9 revela que os materiais drenantes, os materiais envoltórios e a interação entre ambos tiveram um comportamento não significativo. O coeficiente de variação foi de 3,63%, indicando uma ótima precisão em sua determinação, segundo Ferreira (1991). Constatou-se que os valores médios da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ) foram todos próximos da unidade, isto porque os piezômetros adjacentes ao sistema drenante eram dispostos bem próximos. Os critérios propostos por Dieleman & Trafford (1976), (Tabela 3), para avaliar a razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ), indicam que os resultados não foram satisfatórios, isto se justifica porque estes critérios diferem da situação em que foram submetidos os sistemas drenantes nesta avaliação, onde os sistemas foram avaliados em um meio poroso (areia) com elevada condutividade hidráulica ( $26,78 \text{ m.dia}^{-1}$ ) e espaçados de 1,0 m. Por outro lado, os resultados obtidos neste estudo concordam com os resultados de Gonzaga (1994) e Silva (1997).

#### 4.1.3 – Resistência de Entrada ( $re$ )

Quanto à resistência de entrada ( $re$ ), observando a análise estatística (Tabela 9), nota-se que os materiais drenantes, os materiais envoltórios e a interação entre os mesmos apresentaram uma diferença altamente significativa (1% de probabilidade). A comparação entre as médias da resistência de entrada para os diferentes materiais são apresentados na Tabela 11. Percebe-se que nesta tabela a resistência de entrada apresentou diferença significativa para todos os sistemas drenantes. Para o envoltório de espuma o tubo de PVC liso apresentou a maior resistência de entrada. Este fato pode ser explicado, possivelmente, pelo fato de não ter havido uma perfeita aderência do envoltório ao tubo liso. Verifica-se ainda que a resistência do envoltório de bidim foi praticamente o dobro da resistência oferecida pelo envoltório de brita zero. Isto pode ser devido ao fato de que o envoltório de brita zero apresentou um maior raio efetivo, granulometria uniforme e poros relativamente grandes. Nesta tabela, percebe-se que os menores valores de resistência de

entrada ( $re$ ) para todos os materiais drenantes avaliados foram obtidos com o uso do envoltório de brita zero, seguido do envoltório de espuma, podendo-se inferir que a espuma teve uma performance altamente desejável do ponto de vista da resistência de entrada. Os sistemas drenantes estudados nesta pesquisa, conforme os critérios de classificação dos sistemas drenantes propostos por Wesseling e van Someren (1972) e Dieleman & Trafford (1976), são considerados bons a muito bons.

**Tabela 11. Valores médios da resistência de entrada ( $re$ ), em  $\text{dia.m}^{-1}$ , em relação aos materiais drenantes *versus* materiais envoltórios.**

Materiais Drenantes	Envoltórios		
	Bidim	Brita zero	Espuma
Drenoflex	0,0120 a A	0,0066 b A	0,0086 b B
PVC liso	0,0127 a A	0,0068 b A	0,0146 a A
Kananet	0,0121 a A	0,0066 b A	0,0079 b B
<b>DMS (5%)</b>	0,0030	0,0030	0,0030

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si a 5%.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5%.

Segeren & Zuidema 1969, citados por Wesseling & van Someren (1972), ao estudarem o efeito da resistência de entrada em tubos de PVC de paredes lisas de diâmetro nominal de 50 mm, com e sem o uso de diferentes envoltórios em condições de campo e de laboratório, observaram uma redução da resistência de entrada até 41 vezes, em relação ao uso do material drenante sem envoltório em campo (Tabela 12). Isso demonstra a importância do uso de envoltório, não só para evitar o carreamento de partículas de solo para o interior do tubo drenante, mas também para contribuir para uma considerável redução da resistência de entrada e uma performance adequada do sistema de drenagem.

**Tabela 12. Resistência de entrada ( $re$ ) de tubos lisos com diferentes envoltórios\***

Tubo drenante	Envoltório	$K = 0,5 \text{ m.dia}^{-1}$	$K = 0,07 \text{ m.dia}^{-1}$
		(campo)	(Laboratório)
		$re (\text{dia.m}^{-1})$	$re (\text{dia.m}^{-1})$
	Nenhum	1,65	11,60
PVC liso de 50 mm	Fibra de vidro	0,80	2,00
	Turfa	0,04	0,22

\* Fonte: Wesseling & van Someren (1972).

Na Figura 1 observa-se um padrão de comportamento similar da variável resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada entre os tratamentos com o envoltório de bidim, evidenciando que os materiais drenantes com esse tipo de envoltório mantiveram-se com respostas similares.

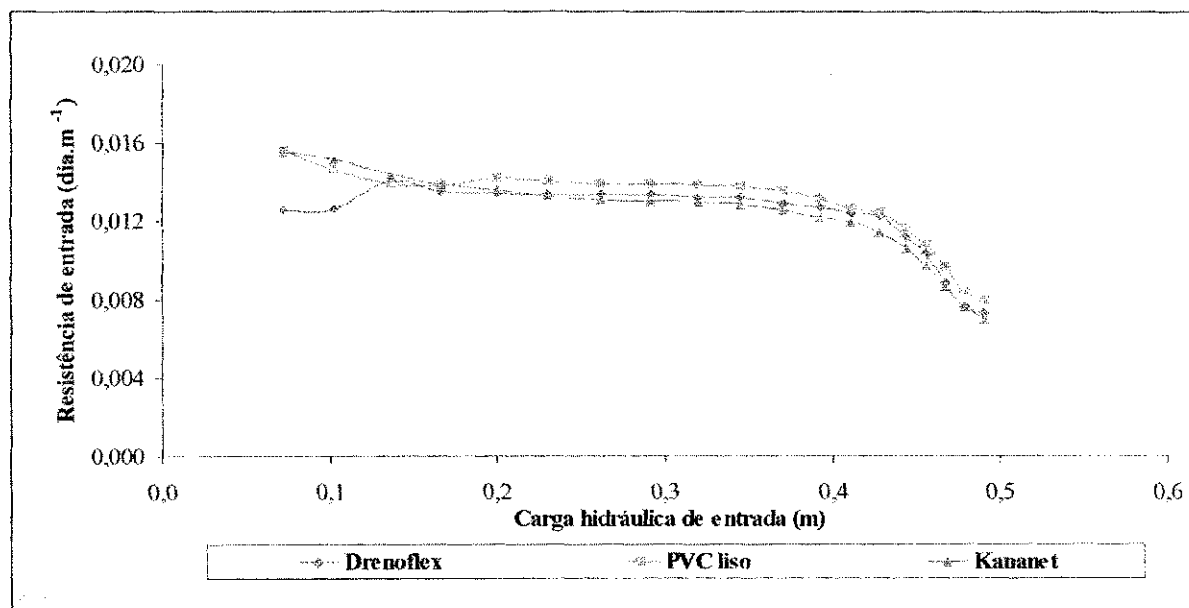


Figura 1. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de bidim.

As equações de ajuste para a resistência de entrada seguiram o modelo polinomial do segundo grau com coeficientes de determinação variando entre 0,84 e 0,89. Os elevados valores dos coeficientes indicam que a resistência de entrada ( $re$ ) pode ser estimada, com precisão, a partir da carga hidráulica de entrada que, segundo os tratamentos foram:

Drenoflex com bidim	$y = -0,0854x^2 + 0,0394x + 0,0096$	$r^2 = 0,86$
PVC liso com bidim	$y = -0,0591x^2 + 0,0217x + 0,0128$	$r^2 = 0,84$
Kanonet com bidim	$y = -0,0475x^2 + 0,0118x + 0,0140$	$r^2 = 0,89$

As curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada, entre os tratamentos com o envoltório de brita zero, são mostradas na Figura 2, na qual, verifica-se um comportamento similar entre os tubos avaliados. Os valores dos coeficientes de determinação das equações polinomiais apresentados a seguir, os quais oscilaram entre 0,88 a 0,91, indicam ajustes adequados dessas variáveis.

Drenoflex com brita zero	$y = 0,0092x^2 - 0,0183x + 0,0109$	$r^2 = 0,90$
PVC liso com brita zero	$y = 0,0081x^2 - 0,0170x + 0,0108$	$r^2 = 0,88$
Kanonet com brita zero	$y = 0,0040x^2 - 0,0147x + 0,0103$	$r^2 = 0,91$

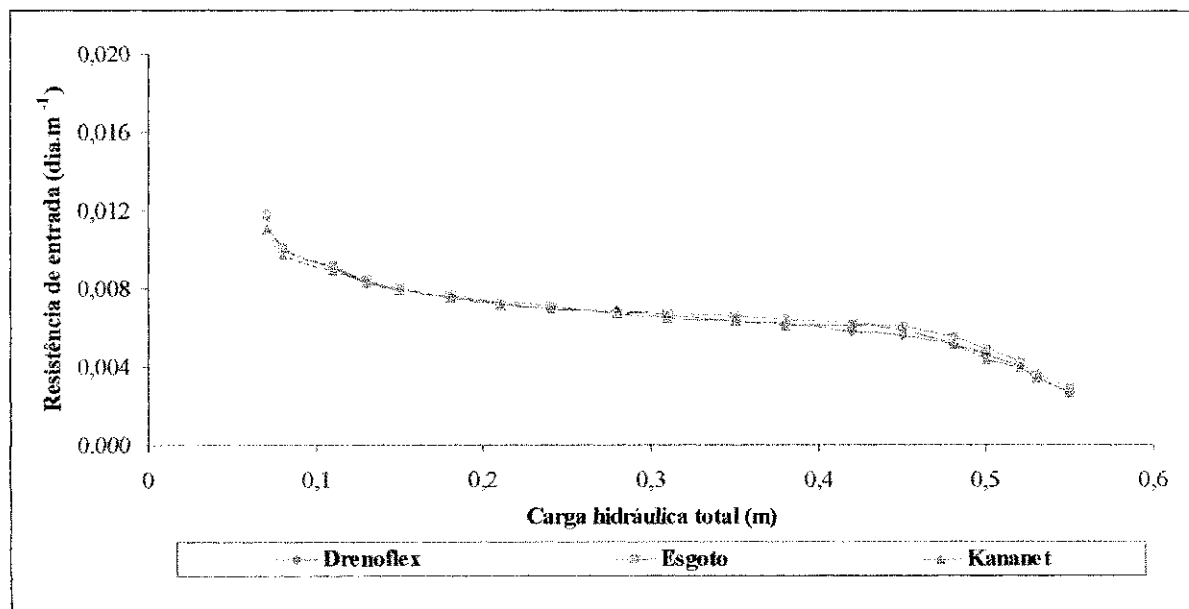


Figura 2. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de brita zero.

A Figura 3 apresenta as curvas do comportamento da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada entre os tratamentos com o envoltório de espuma. Verifica-se que os sistemas drenantes convencionais tiveram suas curvas praticamente superpostas e com valores bem inferiores aos da curva do sistema drenante alternativo (PVC liso). Conforme já foi discutido, esta diferença pode ter sido causada por uma falha na aderência entre este envoltório e o tubo liso. Os valores dos coeficientes de determinação estatística das equações polinomiais apresentados abaixo, que compreenderam entre 0,76 a 0,82, indicam ajustes satisfatórios dessas variáveis.

Drenoflex com espuma	$Y = 4x^2 + 0,0083x + 0,0092$	$r^2 = 0,80$
PVC liso com espuma	$Y = -0,0066x^2 + 0,0370x + 0,0114$	$r^2 = 0,76$
Kanonet com espuma	$Y = -0,0102x^2 - 0,0025x + 0,0104$	$r^2 = 0,82$

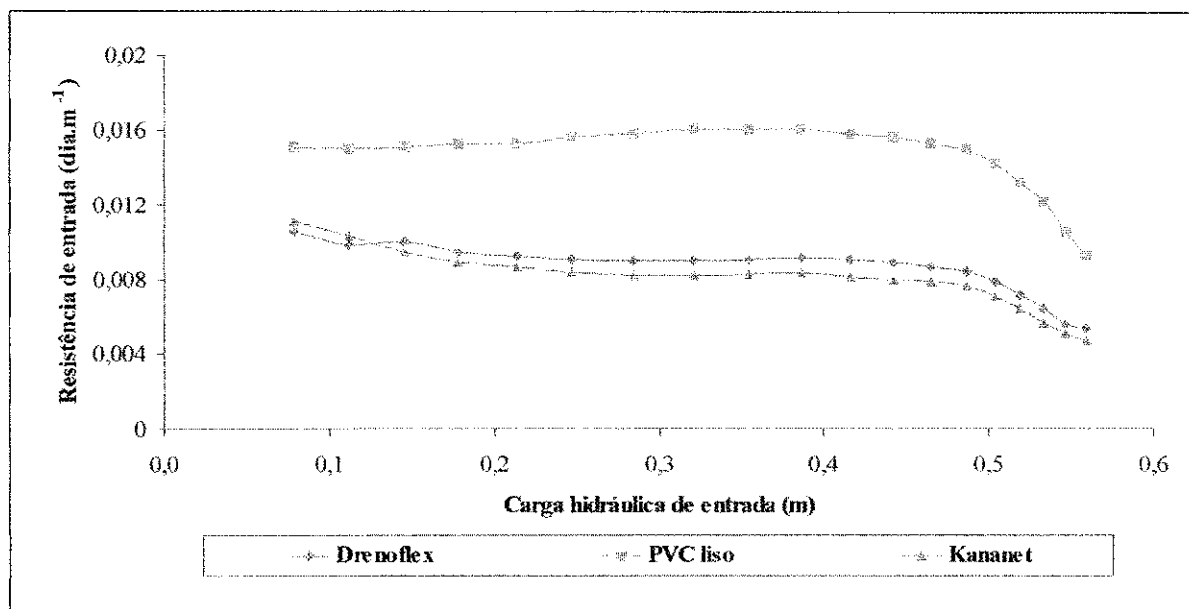


Figura 3. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de espuma.

#### 4.1.4 – Fluxo ( $q$ )

Os resultados da análise de variância do fluxo são mostrados na Tabela 9. Observa-se que houve diferença entre os materiais drenantes, entre os materiais envoltórios (1% de probabilidade) e a interação entre os materiais drenantes *versus* os materiais envoltórios (5% de probabilidade).

Verifica-se na Tabela 13 que os materiais drenantes Drenoflex e Kananet apresentaram comportamentos diferenciados para o fluxo nos três envoltórios avaliados. O material drenante alternativo (PVC liso) apresentou o mesmo efeito tanto com o envoltório de bidim quanto com o envoltório de espuma.

Tabela 13. Valores médios do fluxo ( $q$ ), em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ , em relação aos materiais drenantes *versus* materiais envoltórios.

Materiais Drenantes	Envoltórios		
	Bidim	Brita zero	Espuma
Drenoflex	14,0467 c A	29,6267 a A	22,3033 b A
PVC liso	14,3367 b A	28,2567 a A	14,9767 b B
Kananet	15,6100 c A	30,0233 a A	23,3433 b A
<b>DMS (5%)</b>	4,1021	4,1021	4,1021

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si a 5%.  
Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5%.

A maior e a menor descarga foram constatadas com o uso dos envoltórios de brita zero e bidim, respectivamente (Tabela 13). A diferença constatada no fluxo pelos materiais drenantes convencionais Kananet e Drenoflex com o uso do envoltório de espuma, em relação ao envoltório de bidim, foi, respectivamente de 49,54 e 58,78%, em favor da espuma. Isto demonstra uma elevada potencialidade de uso do envoltório de espuma, credenciando-o como um material que apresenta qualidades altamente desejáveis como envoltório.

Vale ressaltar, no entanto, que apesar do material drenante alternativo (PVC liso) ter apresentado a menor taxa média de descarga entre os três materiais drenantes e envoltórios avaliados (Tabela 13), este sistema reagiu de forma positiva para o rebaixamento do lençol freático, inclusive não se constatando, visualmente, em nenhum dos materiais envoltórios avaliados, o transporte de partículas de areia.

No ensaio com o envoltório de bidim, como demonstra a Figura 4, observa-se um padrão uniforme de resposta da variável fluxo em relação ao tempo de drenagem acumulado, entre os materiais drenantes Drenoflex, PVC liso e Kananet, podendo-se afirmar que o sistema drenante alternativo (PVC liso), nas condições descritas, não apresentou diferença em termos de rebaixamento do lençol freático ao comparar com os materiais drenantes convencionais (Drenoflex e Kananet). As equações de ajuste para o fluxo com o envoltório de bidim seguiram o modelo potencial que, segundo os tratamentos foram:

Drenoflex com bidim	$Y = 283,44x^{-0,5716}$	$r^2 = 0,95$
PVC liso com bidim	$Y = 288,6x^{-0,5703}$	$r^2 = 0,93$
Kananet com bidim	$Y = 384,52x^{-0,6115}$	$r^2 = 0,95$



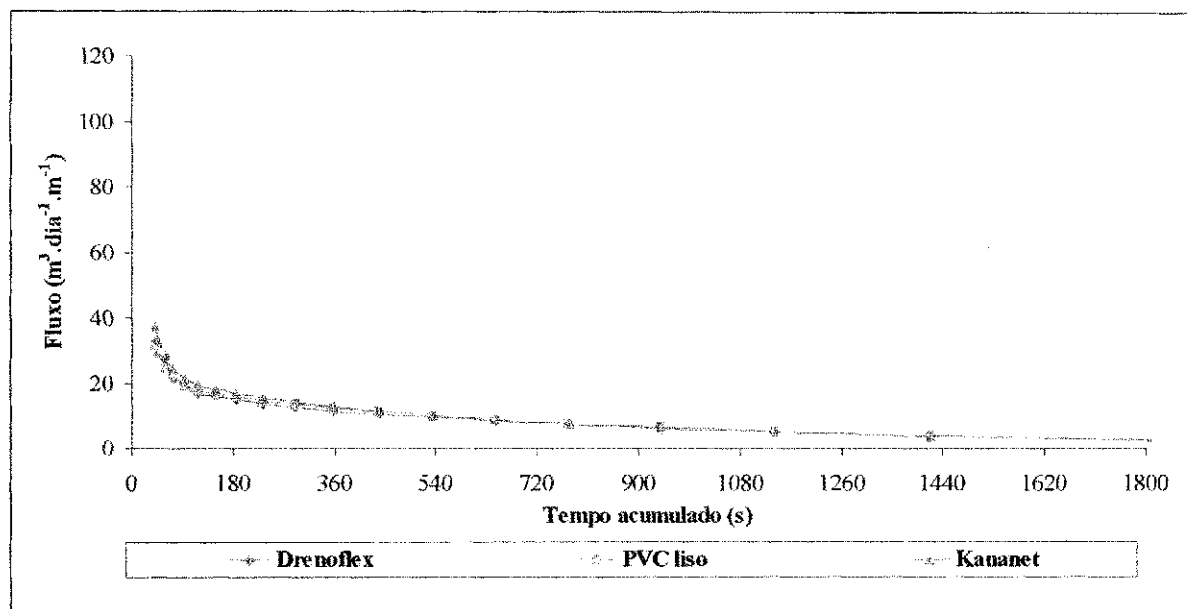


Figura 4. Curvas do fluxo em relação ao tempo para os diferentes sistemas drenantes com o envoltório de bidim.

Na Figura 5 têm-se as curvas do fluxo em relação ao tempo de drenagem dos materiais drenantes com o envoltório de brita zero. Embora a análise estatística tenha revelado uma diferença significativa na interação envolvendo os materiais drenantes *versus* os materiais envoltórios, no desdobramento dos tubos drenantes com o envoltório de brita zero, esta diferença não foi manifestada e os materiais drenantes produziram o mesmo efeito na variável fluxo. Percebe-se que as curvas dos sistemas drenantes encontram-se superpostas, evidenciando um desempenho semelhante entre o tubo de PVC liso e os tubos convencionais (Drenoflex e Kananet), onde o fluxo teve um comportamento característico, inicialmente com altas taxas e em seguida decrescendo, gradualmente, até alcançar um valor relativamente constante. Percebe-se nesta figura, que o fluxo alcançou um valor máximo em torno de  $100,0 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  para todos os materiais drenantes avaliados, evidenciando-se uma condição altamente desejável em termos de rebaixamento do lençol freático. Os valores dos coeficientes de determinação das equações potenciais (apresentados abaixo), acima de 0,96, demonstram ajustes adequados.

Drenoflex com brita zero	$Y = 2833,2x^{-0,9039}$	$r^2 = 0,97$
PVC liso com brita zero	$Y = 2597,3x^{-0,8949}$	$r^2 = 0,96$
Kananet com brita zero	$Y = 2952,7x^{-0,9101}$	$r^2 = 0,97$

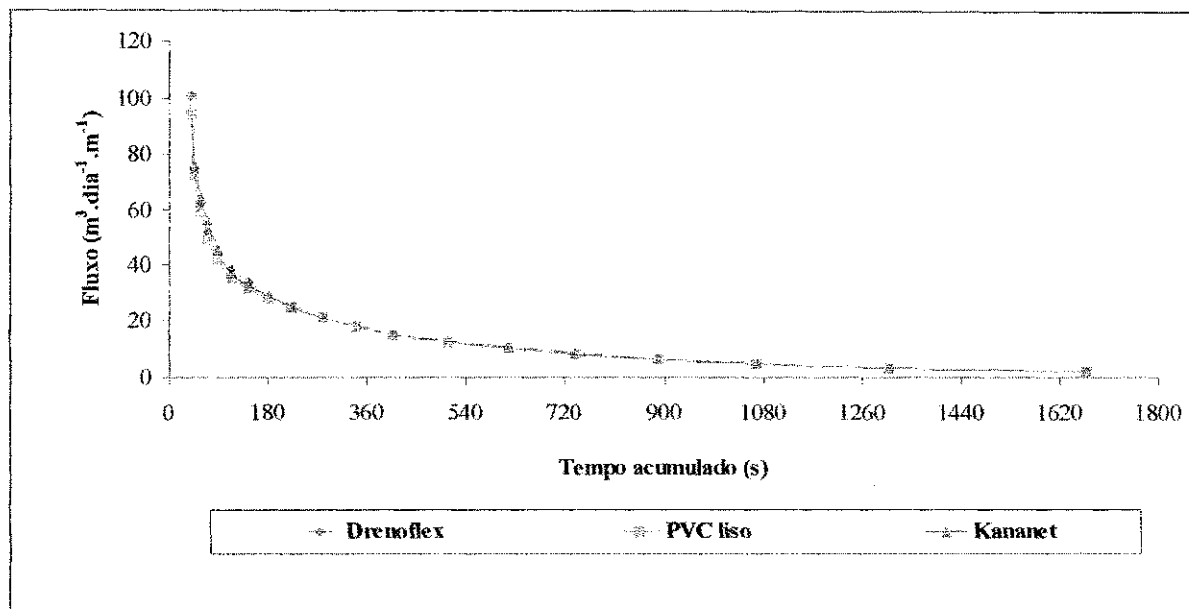


Figura 5. Curvas do fluxo em relação ao tempo para os diversos sistemas drenantes com o envoltório de brita zero.

A Figura 6 apresenta as curvas da variável fluxo em relação ao tempo de drenagem dos diferentes materiais drenantes com o envoltório de espuma. Constata-se nesta figura que, inicialmente os sistemas drenantes convencionais apresentaram uma descarga superior em relação ao sistema drenante alternativo (PVC liso), mas ao longo do tempo esta diferença foi diminuindo até que a um terço (1/3) do tempo usado nos testes essa diferença deixou de existir, a partir daí o sistema passou a apresentar um comportamento similar.

Ao comparar o fluxo dos sistemas drenantes com o envoltório de espuma (Figura 6) com o fluxo com os envoltórios de bidim e brita zero (Figuras 4 e 5), constata-se que o volume drenado com a utilização do envoltório de espuma situou-se em uma posição intermediária, sendo que os sistemas com o envoltório de brita zero apresentaram capacidade para produzir um maior rebaixamento do lençol freático em menor espaço de tempo. Os valores dos coeficientes de determinação das equações potenciais (apresentados abaixo) para estas curvas oscilaram entre 0,92 a 0,94, demonstrando combinações satisfatórias.

Drenoflex com espuma	$y = 732,69x^{-0,676}$	$r^2 = 0,92$
PVC liso com espuma	$y = 137,74x^{-0,4196}$	$r^2 = 0,94$
Kananet com espuma	$y = 940,05x^{-0,7182}$	$r^2 = 0,93$

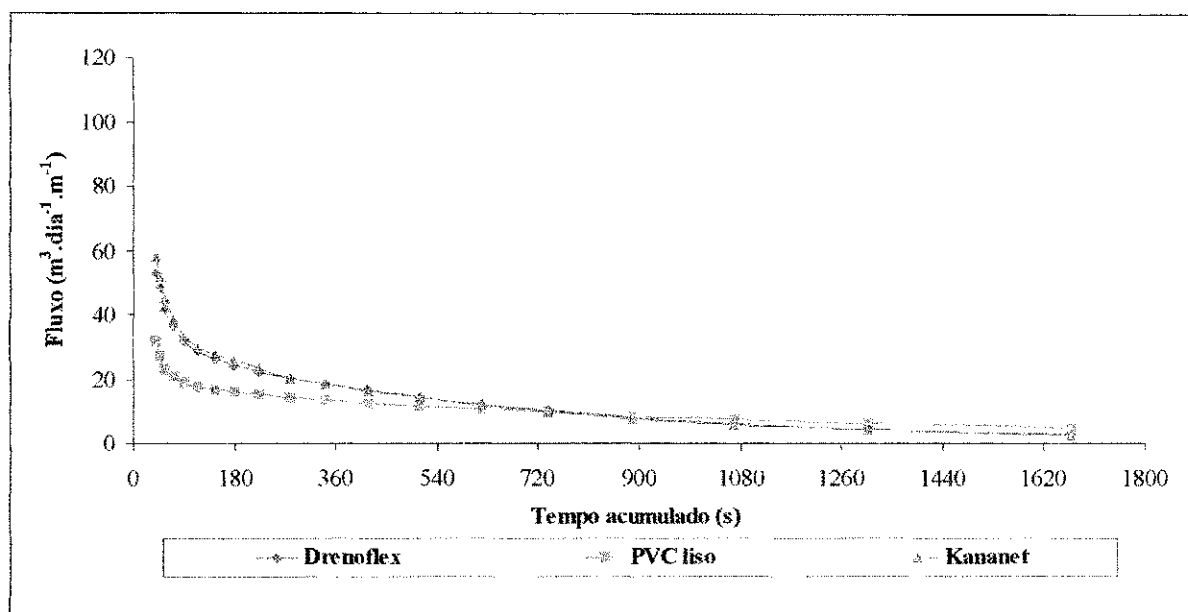


Figura 6. Curvas do fluxo em relação ao tempo de drenagem para os diferentes sistemas drenantes com o envoltório de espuma.

#### 4.1.5 – Fator de Resistência de Entrada ( $\alpha$ )

Os valores correspondentes à variável fator de resistência de entrada são apresentados na Tabela 14. Percebe-se que estes valores são similares ao se comparar os materiais drenantes com o mesmo tipo de material envoltório, exceto para o material drenante de PVC liso com o envoltório de espuma que apresentou um fator de resistência de entrada superior aos demais sistemas drenantes. Como o fator de resistência de entrada é diretamente proporcional à resistência de entrada e à condutividade hidráulica e, considerando-se que o valor da condutividade hidráulica é constante, o alto valor do fator de resistência de entrada, encontrado neste trabalho para o tubo de PVC liso com o envoltório de espuma, se explica pela maior resistência de entrada oferecida por esse sistema. Esses resultados estão dentro dos limites estabelecidos por Smedema & Rycroft (1983) para os tubos drenantes de PVC de paredes lisas e concordam com os obtidos por Gonzaga (1994).

Comparando os valores do fator de resistência de entrada encontrados neste trabalho com os valores propostos por Wesseling & van Someren (1972), verifica-se que o sistema drenante constituído de tubo de PVC de paredes lisas e os sistemas drenantes

convencionais (Drenoflex e Kananet), para todos os tipos de envoltórios avaliados, são considerados como muito bons.

**Tabela 14. Fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) dos tratamentos.**

<b>Material Drenante</b>	<b>Material Envoltório</b>	<b>Valores Médios (<math>\alpha</math>)</b>
<b>Drenoflex</b>	Bidim OP -20	0,32
	Brita zero	0,17
	Espuma	0,22
<b>PVC liso</b>	Bidim OP -20	0,34
	Brita zero	0,18
	Espuma	0,39
<b>Kananet</b>	Bidim OP -20	0,32
	Brita zero	0,18
	Espuma	0,21

## 5. 0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos permitem inferir as seguintes conclusões e recomendações:

- O tubo de PVC liso próprio para esgoto doméstico mostrou-se viável como material alternativo, para a drenagem agrícola, em condições de laboratório;
- O desempenho dos materiais drenantes testados apresentaram resistência de entrada classificada como boa a muito boa;
- O tubo de PVC liso com envoltório de espuma apresentou resistência de entrada superior em relação quando utilizado com os envoltórios de bidim e de brita zero;
- A utilização dos tubos convencionais (Drenoflex e Kanonet) com envoltório de espuma apresentou resistência de entrada inferior ao envoltório de bidim;
- Os envoltórios de bidim, brita zero e espuma inibiram, visualmente, a entrada de partículas do material poroso para o interior dos tubos Drenoflex, PVC liso e Kanonet;
- Recomenda-se testar o tubo de PVC liso e o envoltório de espuma em sistemas drenantes, em nível de campo.

## 6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-DAYEM, M.S.; ABU-SINNA, M.A.; AMER, M.H. & DEELSTRA, J. *Subsurface drainage in irrigated lands and its effect on soil and crops*. In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1987. p. 168 - 177.
- ALMEIDA, D.M.de. *Análise comparativa de envoltórios para drenos tubulares em condições de fluxo não-permanente*. 1999, 56 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 13292. *Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante*. Rio de Janeiro, 1995.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na irrigação*. Campina Grande – PB: UFPB. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damaceno, F. A. V., 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BATISTA, M.de J.; NOVAES, F.de; SANTOS, D.G. dos & SUGUINO, H.H. *Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização dos solos*. Brasília: SRH, 1998. 203 p.

- BATISTA, M.de J.; SILVA, C.L.da & RODRIGUES, J.D'I. *Análise técnico-econômica do comportamento de drenos entubados empregando envelope somente de cascalho e de cascalho com manta sintética*. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n. 19, p. 14 - 22, 1984.
- BELTRAN, J.M. *Drenaje agrícola*. Manual técnico n.5, v.1. Madrid, 1986. 239 p.
- BENATTI Jr.,R.; CRUCIANI, D.E. & ABRAHÃO, J.T.M. *Durabilidade de fibras vegetais usadas como envoltórios de drenos subterrâneos*. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n. 39, p. 35 - 37, 1989.
- BENTLEY, W.J. & SKAGGS, R.W. *Changes in entrance resistance of subsurface drains*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.119, n.3, p. 584 - 599, 1993.
- BOLDUC, G.F.; BROUGHTON, R.S. & ROLLIN, A.L. *Observations of synthetic envelope materials in silt soils*. In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1987. p. 380 - 388.
- BONNELL, R.B.; BROUGHTON, R.S. & MLYNAREK, J. *Long term performance of geotextiles on horizontal subsurface drainage systems*. In: Drainage and Water Table Control. Proceedings of the Sixth International Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1992. p. 183 - 192.
- BORIN, M.; MORARI, F.; BONAITI, G.; PAASCH, M. & SKAGGS, R.W. *Analysis of DRAIMOND performances with different detail of soil input data in the Veneto region of Italy*. Agricultural Water Management, v. 42, n.3, p. 259 - 272, 2000.
- BOS, M.G. & BOERS, Th. M. *Land drainage: Why and how?* In: RITZEMA, H.P. (ed.). Drainage Principles and Applications. ILRI, Wageningen, 1994. p. 23 - 31. (Publication 16).
- BOUWER, H. *Integrated water management: emerging issues and challenges*. Agricultural Water Management, v. 45, n.3, p. 217 - 228, 2000.

- BROUGHTON, R.S., CHIRADA, K.E. & BONNELL, R.B. *Test of drain tubes with pin holes and small slots*. In: Drainage Design and Management. ASAE. Publication 7, 1987. p. 362 - 371.
- BROUGHTON, R.S.; ENGLISH, B.; DAMANT, C. ; AMI, S.; McKYES, E. & BRASSEUR, J. *Test of filter materials for plastic tubes*. In: Proceedings Third National Drainage Symposium, ASAE, St. Joseph, Michigan, U.S.A., 1976. p. 34-39.
- CAVELAARS, J.C. *Sistemas subsuperficiales de drenaje agrícola*. In: Principios y Aplicaciones del Drenaje, v. IV. ILRI. Wageningen, 1978. p. 1 - 76.
- CAVELAARS, J.C.; VLOTMAN, W.F. & SPOOR, G. *Subsurface drainage systems*. In: RITZEMA, H.P. (ed.). Drainage Principles and Applications. ILRI, Wageningen, 1994. p. 827 - 929 (Publication 16).
- CHOSSAT, J.C. *Relation between hydraulic conductivity and drainable porosity*. In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1987. p. 92 - 100.
- COELHO, E.F.; EUCLYDES, H.P. & CAMPOS NETO, S. *Engenharia de drenagem na agricultura*. Informe Agropecuário, 12, 139, p. 68 - 80, 1986.
- COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F.C.; NASCIMENTO, C.J.A.; LOPES, L.F.V. & ARAÚJO, E.C.E. *Uso de areia grossa e manta de poliéster como materiais-envelope num sistema de drenagem*. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.3, n.3, p. 293 - 297, 1999.
- COELHO, E.F. & PEREIRA, P.M. *Desempenho de drenos de bambu e PVC em solo várzea*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.27, n. 6, p. 901 - 914, 1992.
- CRUCIANI, D.E. *A drenagem na agricultura*. São Paulo: Nobel, 1980. 333 p.
- DASS, P. & MOREL-SEYTOUX, H.J. *Subsurface drainage solutions by galerkin's method*. Journal of Irrigation and Drainage Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, v. 100, n. IRI, 1974. p. 1 - 15.



- DATTA, K.K.; JONG, C.de & SINGH, O.P. *Reclaiming salt-affected land through drainage in Haryana, India: a financial analysis*. Agricultural Water Management, v. 46, n.1, p. 55 - 71, 2000.
- DIELEMAN, P.J. & TRAFFORD, B.D. *Ensayos de drenaje*. In: Irrigation and Drainage, paper nº 28. FAO/ONU, Roma, 1976. 172 p.
- DIERICKX, W. *Structural stability of soil and the need for drainage envelopes*. In: Advances in Drainage. Proceedings of the American Society of Agricultural Engineers Fourth National Drainage Symposium. St. Joseph, Michigan, 1982. p. 79 - 86.
- DIERICKX, W. *Choice of subsurface drainage material*. Journal of American Society of Agriculture Engineers. St. Joseph, v. 87, n. 2.580, p. 2 - 9, 1987.
- DIERICKX, W.; LENOZ-GRATIN, Ch. & STUYT, L.C.P.M. *Joint european research into land drainage envelopes*. In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1987. p. 406 - 415.
- DIERICKX, W. & YUNCUOGLU, H. *Factors affecting the performance of drainage envelope materials in structurally unstable soils*. Agricultural Water Manegement, v.5, n.3, p. 215 - 225, 1982.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1979.
- FERREIRA, P.A. *Drenagem*. Brasília: ABEAS - Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1988. 86 p. (ABEAS. Curso de Engenharia da Irrigação. Módulo 11).
- FERREIRA, P.A. *Qualidade de água e manejo água-planta em solos salinos*. Brasília: ABEAS, Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1996. 141 p. (ABEAS. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação. Módulo 10).

- FERREIRA, P.A.; SEDIYAMA, G.C.; SOUZA, E.F. de & SAIKI, L.M. *Relação entre espaçamento e profundidades de drenos em função de características pluviométricas, hidrodinâmicas, geométricas e de cultura, em cinco regiões de Minas Gerais*. Engenharia na Agricultura. Série Irrigação e Drenagem, Viçosa, v.2, n.15, 1993. 16 p.
- FERREIRA, P.V. *Estatística Experimental Aplicada à Agronomia*. Maceió: EDUFAL, 1991. 437 p.
- FIPPS, G. & SKAGGS, W. *Simple methods for predicting flow to drains*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 117, n.6, p. 881- 896, 1991.
- FOUSS, J.L. *Drain tube materials and installation*. In: van SCHILFGAARDE, J. (ed.). Drainage for Agriculture. Agronomy 17, American Society of Agronomy, Madison, 1974. p. 147-177.
- GARCIA, L.A.; GATES, T.K.; JENSEN, M.E. & PODMORE, T.H. *Management support for conjunctive irrigation and drainage*. In: Drainage and Water Table Control. Proceedings of the Sixth International Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1992. p. 12 - 19.
- GONZAGA, E. *Aplicabilidade de tubo de PVC para esgoto como material drenante alternativo*. 1994, 60 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- GUITJENS, J.C.; AYARS, J.E.; GRISMER, M.E. & WILLARDSON, L.S. *Drainage design for water quality management: overview*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 123, n.3, p. 148 - 153, 1997.
- KNOPS, J.C.A. & DIERICKX, W. *Drainage Materials*. In: (ed.). WESSELING, J. Proceedings of the International Drainage Workshop. Wageningen, ILRI, 1979. p. 14 - 38 (Publication, 25).

- LAMSAL, K.; PAUDYAL, G.N. & SAEED, M. *Model for assessing impact of salinity on soil water availability and crop yield*. Agricultural Water Management, v.41, n.1, p.57 - 70, 1999.
- LENOZ-GRATIN, Ch. *Effect envelopes on flow patterns near drain pipe*. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, v. 115, n. 4, p. 626 - 641, 1989.
- LIMA, V.L.A.de. *Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em condições de lisímetro de drenagem*. 1998, 87 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MANGUERRA, H.B. & GARCIA, L.A. *Field strategy for agricultural drainage and water-quality management*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 123, n.1, p. 37 - 44, 1997.
- MILLAR, A.A. *Drenagem das terras agrícolas*. Bases agronômicas. Editerra Editorial Ltda. São Paulo, 1988. 306 p.
- MOUSTAFA, M.M. *A geoestatistical approach to optimize the determination of saturated hydraulic conductivity for large-scale subsurface drainage design in Egypt*. Agricultural Water Management, v. 42, n.3, p. 291 - 312, 2000.
- NIEUWENHUIS, G.J.A. & WESSELING, J. *Effect of perforation and filter material on entrance resistance and effective diameter of plastic drain pipes*. Agricultural Water Management, v.2, n.1, . p. 1 - 9, 1979.
- NWA, E.W. *Using the bamboo (Bambusa vulgaris) as field drainage material*. Transactions of the ASAE, v.24, n.4, p. 974 - 976, 1981.
- PEREIRA, A.A.A. & CRUCIANI, D.E. *Desempenho de envoltórios no aumento da capacidade de drenagem e no controle do carreamento do solo para drenos tubulares*. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 8, v. II, 1988, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 1988. p. 651 - 675.

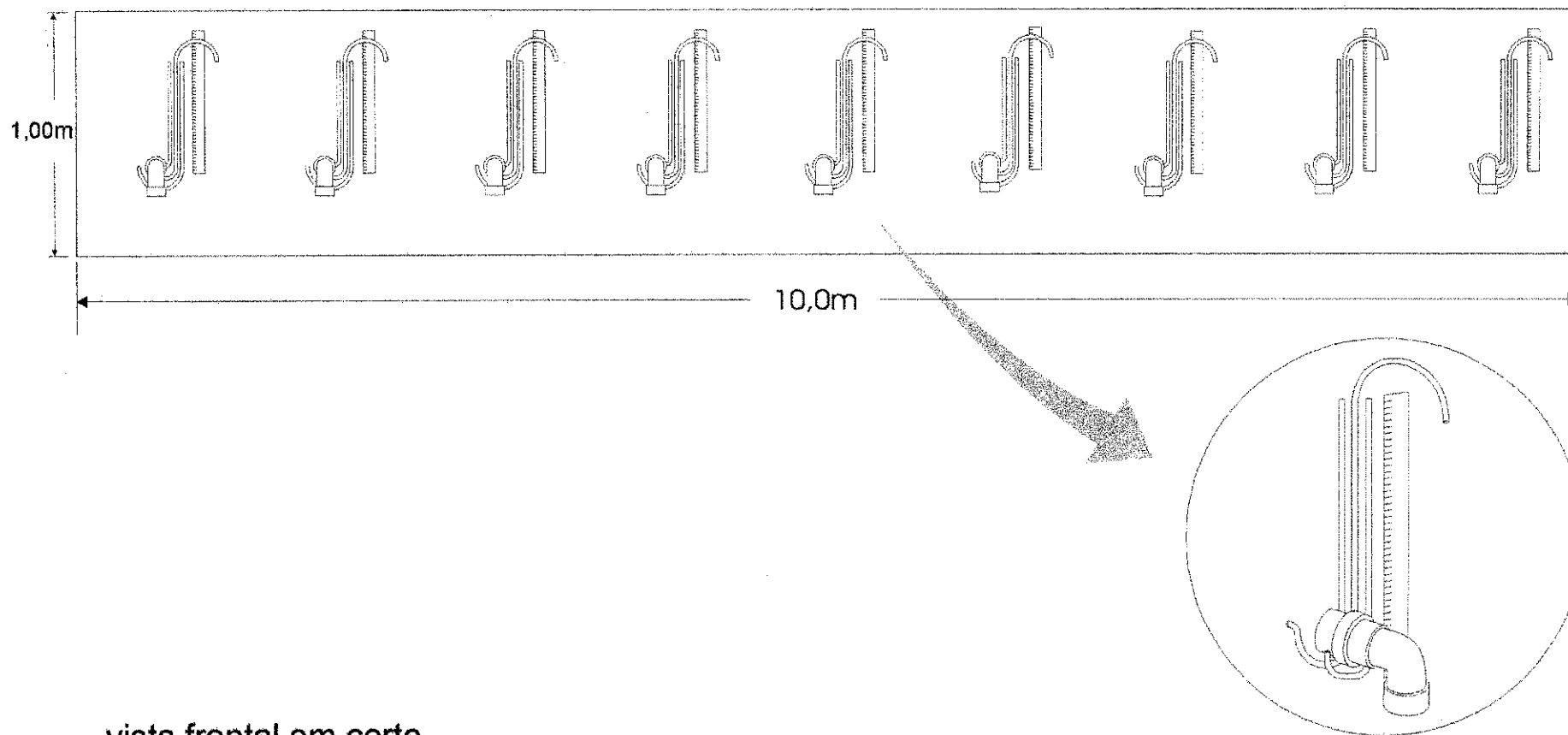
- PIZARRO, F. *Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos*. Editora Agricola Espanhola. Madrid, 1978. 521p.
- PRASHER, S.O.; KABIRI, M.; BROUGHTON, R.S. & MEMON, N.A. *Measurement of the unsaturated hydraulic conductivity function on long cores*. In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1987. p. 101 - 108.
- QUEIROZ, J.E.; CRUCIANI, D.E.; & LIBARDI, P.L. *Estimativa da porosidade drenável de um solo de várzea a partir da tensão da água no solo*. Scientia Agrícola, v.52, n.3, p. 469 - 475, 1995.
- RIDDER, N. A. de & van AART, R. *Procedimentos en estudios de drenaje*. In: Principios y aplicaciones del drenaje, v. IV. ILRI. Wageningen, 1978. p. 451- 478.
- RITZEMA, H.P. & BRAUN, H.M.H. *Environmental aspects of drainage*. In: Drainage Principles and Applications, ILRI. Wageningen, 1994. p. 1041 - 1065.
- SALEM, H.EL-S. & WILLARDSON, L.S. *Comparison of the performance of thick and thin envelope materials*. In: Drainage and Water Table Control. Proceedings of the Sixth International Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1992. p. 411 - 418.
- SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; BARNES, K.K. & EDMINSTER, T.W. *Elementary Soil and Water Engineering*. 2 ed. John Wiley & Sons, New York, 1971.316 p.
- SEKENDAR, M.A. *Entrance resistance of enveloped drainage pipes*. Agricultural Water Management, v.8, n.4, p. 351 - 360, 1984.
- SILVA, A.R.da. *Condutividade hidráulica e sua relação com a análise granulométrica do solo em relação a drenagem*. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n. 39, p. 7, 1989.

- SILVA, V.de P. *Avaliação do desempenho de sistemas drenantes em condições de laboratório*. 1997, 121 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- SMEDEMA, L.K. & RYCROFT, D.W. *Land Drainage: planning and design of agricultural drainage systems*. Bastford, London: 1983, 376 p.
- STUYT, L.C.P.M. *Drainage material*. In: Twenty Eighth International Course on Land Drainage. Wageningen: ILRI, 1989. 47 p. (Syllabus 22).
- STUYT, L.C.P.M. *Effect of drain envelopes on the water acceptance of wrapped subsurface drains*. In: Drainage and Water Table Control. Proceedings of the Sixth International Drainage Symposium. ASAE. St. Joseph, 1992. p. 257 - 263.
- TILIGADAS, E. *Effect of different parameters on entrance resistance of corrugated plastic drains*. Agricultural Water Management, v.13, n.2-4, p. 225 - 233, 1988.
- UPADHYAYA, A & CHAUHAN, H.S. *An analytical solution for bi-level drainage design in the presence of evapotranspiration*. Agricultural Water Management, v. 45, n.2, p. 169 - 184, 2000,
- U. S. DEPARTAMENT OF THE INTEIOR. *Bureau of Reclamation. Drainage Manual – A Water Resources Technical Publication*. Washington, 1984. 286 p.
- VLOTMAN, W.F. *Drain envelopes*. Anual Report, ILRI. Wageningen, p. 10 - 29, 1998.
- WESSELING, J. & van SOMEREN, C.L. *Drainage Materials. Provisional Report of the experience gained in the Netherlands*. In: Drainage Materials. FAO/ONU Irrigation and Drainage Paper 9, 1972. p. 55 - 83.
- WILLARDSON, L.S. *Envelope materials*. In: van SCHILFGAARDE, J. (ed.). Drainage for Agricultural. Madison. American Society of Agronomy, 1974. p. 179 - 200. (Agronomy 17).

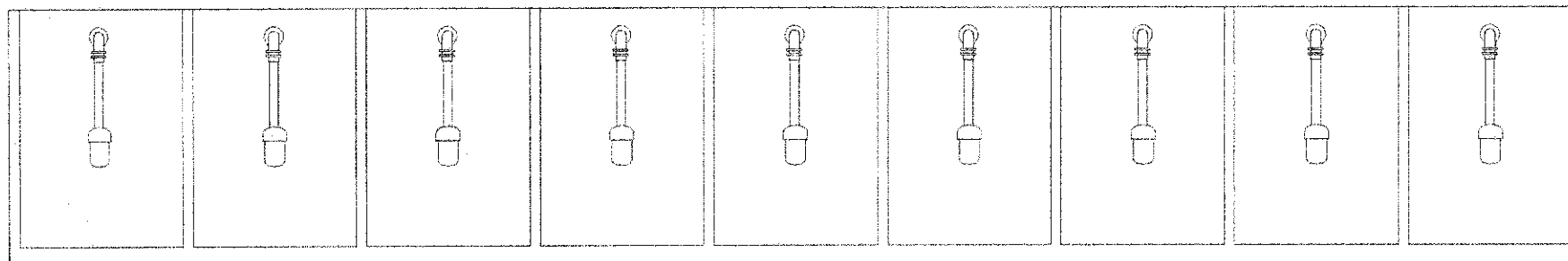
WILLARDSON, L.S. & AHMED, F.K. *Comparison of USBR and SCS drain envelope specifications.* In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. ASAE, St. Joseph, 1987. p. 432 - 439.

# **ANEXOS**

vista frontal

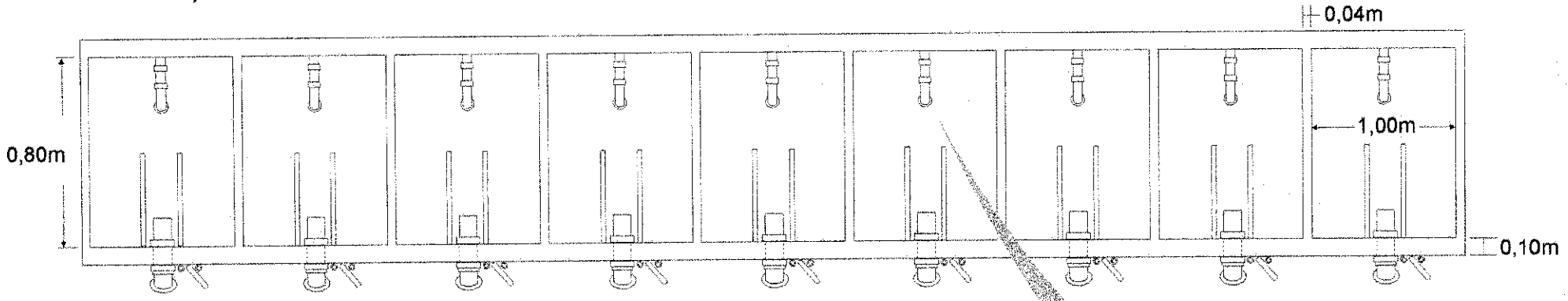


vista frontal em corte





vista superior



vista lateral esquerda em corte

