DESEMPENHO DE ENVOLTÓRIOS NA EFICIÊNCIA DA
DRENAGEM DE UM SOLO COM DRENOS TUBULARES

ANTONIO AUGUSTO ALVES PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiróz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Maio, 1988

A meus pais

JOAQUIM E ELVIRA

DEDICO.

À minha esposa

MIRENE

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela fé e perseverança concedida em todos os momentos.
- Ao Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani pela orientação, apoio e amizade no decorrer do curso e na orientação deste trabalho.
- Aos Professores Luiz Renato D'Agostini e Zeferino Pedro Sachet e ao funcionário Luiz Gustavo Pacheco, da UFSC, pela colaboração inestimável.
- Aos Professores do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ pela contribuição à nossa formação.
- A Todos os amigos que colaboraram na elaboração do trabalho, com sugestões, elaboração de desenhos, datilografia e palavras de incentivo.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
SUMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Tanques de alvenaria	18
3.2. Solo	19
3.3. Envoltórios	29
3.3.1. Tipos escolhidos	29
3.3.2. Filtro de pedregulho e areia	30
3.3.3. Envelopes de brita	34
3.3.4. Envoltório de geotêxtil Ober 851	35
3.3.5. Envoltório de geotêxtil Bidim OP-30	35
3.4. Delineamento experimental	36
3.5. Procedimentos experimentais	37
3.6. Lâmina líquida drenada em duas horas	44
3.6.1. Processo de cálculo	46
3.6.2. Análise estatística	47
3.7. Lâmina mínima satisfatória	47
3.8. Taxas de carregamento de solo	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1. Efeito dos tratamentos na lâmina líquida drenada em duas horas	51
4.2. Curvas de descarga e tempo necessário para drenagem da lâmina mínima satisfatória	56
4.3. Efeito dos tratamentos no carregamento de solo	57
5. CONCLUSÕES	69

	Página
6. LITERATURA CITADA	71
APÊNDICE I	76
APÊNDICE II	78

LISTA DE TABELAS

TABELA Nº		Página
01	Determinação da necessidade de filtros e envelopes para drenos, com base no tipo de solo	26
02	Disposição dos tratamentos nos tanques em cada repetição	37
03	Início das medições de vazão, volume dos recipientes utilizados e intervalos de medição de vazão	39
04	Esquema da análise de variância	48
05	Análise de variância das lâminas líquidas drenadas por metro de tubo em duas horas	52
06	Valores médios de lâminas líquidas drenadas por metro de tubo em duas horas	53
07	Taxas médias de carreamento de solo durante a drenagem dos tanques, para todos os tratamentos, expressas em miligramas de areia por minuto, por metro de dreno	65

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº		Página
01	Aspecto geral conjunto de tanques	22
02	Planta baixa de um dos tanques	23
03	Corte longitudinal de um dos tanques	24
04	Curva granulométrica do solo utilizado no ex- perimento	25
05	Curva granulométrica do filtro de pedregulho e areia	33
06	Corte de um dos tanques com envoltório de bri- ta	40
07	Hidrograma da variação de vazão durante a dre- nagem de tanque com dreno envolto por filtro de pedregulho e areia	45
08	Curva de descarga do tanque com dreno envolto por filtro de pedregulho e areia	58
09	Curva de descarga do tanque com dreno envolto por envelope de brita nº 1 com 10 cm de espes- sura	59
10	Curva de descarga do tanque com dreno envolto por envelope de brita nº 1 com 5 cm de espes- sura.....	60

FIGURA Nº

Página

11	Curva de descarga do tanque com dreno envolto por envelope de brita nº 1 com 2,5 cm de espessura	61
12	Curva de descarga do tanque com dreno envolto por geotêxtil Ober 851	62
13	Curva de descarga do tanque com dreno envolto por geotêxtil Bidim OP-30	63
14	Curva de descarga do tanque com dreno sem envoltório	64

DESEMPENHO DE ENVOLTÓRIOS NA EFICIÊNCIA DA DRENAGEM DE UM SOLO COM DRENOS TUBULARES

Autor: ANTONIO AUGUSTO ALVES PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

RESUMO

O uso de envoltórios mais permeáveis que o solo ao redor de drenos tubulares, melhora as condições de fluxo e reduz o carreamento de partículas de solo para os drenos.

Com o objetivo de avaliar o desempenho de diferentes envoltórios na drenagem de um solo franco arenoso, testou-se em tanques de alvenaria os tratamentos filtro de pedregulho e areia com 10 cm de espessura, envelopes de brita nº 1 com 10 cm, 5 cm e 2,5 cm de espessura, geotêxteis Ober 851 e Bidim OP-30 e ausência de envoltório. Através de sucessivos rebaiamentos do lençol freático, coletou-se dados de vazão e peso de solo carreado, usados na determinação da lâmina drenada por metro de tubo em duas horas, tempo para a drenagem de uma lâmina adotada como mínima satisfatória e taxas de carreamento de solo por metro de dreno em diferentes momentos da drenagem.

As lâminas drenadas em duas horas por metro de tubo foram: 255,8 mm para o filtro de pedregulho e areia, 233,3 e 223,9 mm para os envelopes de brita com 5 e 10 cm de espessura, respectivamente, 221,0 mm para o geotêxtil Bidim OP-30, 200,5 mm para o envelope de brita de 2,5 cm de espessura, 188,3 mm para o geotêxtil Ober 851 e 164,7 mm para o tratamento sem envoltório. As três maiores lâminas diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade da lâmina drenada pelo tratamento sem envoltório. O filtro de pedregulho e areia diferiu também do geotêxtil Ober 851 ao nível de 5%. Todos os demais contrastes entre tratamentos não diferiram estatisticamente ao nível de 5%.

O tempo para a drenagem de 205,5 mm, valor adotado como o de uma lâmina mínima satisfatória, foi de 40 minutos para o filtro de pedregulho e areia, 57 e 83 minutos para os envelopes de brita com 5 e 10 cm de espessura, respectivamente e 102 minutos para o geotêxtil Bidim OP-30. Para os demais tratamentos, o tempo de drenagem foi superior a duas horas.

Apesar da expectativa de que ocorresse carreamento de partículas em função das características do solo estudado, esta se deu em escala muito pequena nas amostras coletadas, não permitindo distinguir o efeito dos tratamentos.

Analisando somente o aumento conferido à capacidade de drenagem, o melhor desempenho foi o do filtro de pe

dregulho e areia. Considerando-se também a facilidade para obtenção e instalação no campo, concluiu-se que o melhor envoltório foi o geotêxtil Bidim OP-30.

DRAIN TUBES DISCHARGE CAPACITY AND SEDIMENT ENTRANCE AFFECTED BY WRAPPERS.

Author: ANTONIO AUGUSTO ALVES PEREIRA

Adviser: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

SUMMARY

Permeable wrapper used around subsurface drains improve flow conditions and decrease soil particles movement into drains.

The performance of different wrappers in a sandy loam soil drainage was evaluated, in lisimeters with the treatments: 10 cm thick sand and gravel filter, 10 cm, 5 cm and 2,5 cm thick gravel envelopes, non-woven fabrics with trade name Bidim OP-30 and Ober 851 and drain without wrapper.

During successive drainages in lisimeters, outflow and mass of sediment transported by water were measured and used to determine the height drained per two hours per one metre, the time for drainage of a given height and the rates of soil transport in different times.

Height drained per two hours per one metre

were: 255.8 mm for sand and gravel filter; 233.3 mm and 223.9 mm for 5 cm and 10 cm thick gravel envelope, respectively; 221.0 mm for Bidim OP-30; 200.5 mm for 2.5 cm thick gravel envelope; 188.3 mm for Ober 851 and 164.7 mm for drain without wrapper. There was a significant difference (5% probability) between the firsts three treatments and the drain without wrapper. Sand and gravel filter was significantly different (5% probability) from the Ober 851 fabric. All other comparison showed no significance.

Drainage times for the given height of 205.5 mm, were 40 minutes for sand and gravel filter; 57 and 83 minutes for 5 cm and 10 cm thick gravel envelopes, respectively, and 102 minutes for Bidim OP-30. Drainage time was greather than two hours for all other treatments.

Soil particle movement into drains were expected because of soil characteristics; however, the small amounts of soil collected in samples did not allow to identify treatment effect.

The sand and gravel filter showed the best performance if only increase in drainage capacity is considered. Including instalation suitability and avaiability, geotextile Bidim OP-30 showed the best performance.

1. INTRODUÇÃO

Os drenos tubulares são os mais indicados para os sistemas de controle do lençol freático devido ao seu bom desempenho, longa durabilidade e pouca necessidade de manutenção. Apesar disso há uma série de problemas que comprometem o funcionamento deste tipo de drenos, os quais são agravados pelo fato de o sistema ser totalmente enterrado no solo, o que dificulta a identificação e o reparo de avarias.

Um dos problemas que ocorre com frequência, causando redução na eficiência do sistema de drenagem, é o entupimento dos drenos por partículas de solo que penetram em seu interior levadas pela água drenada. A maneira usual de evitar a ocorrência deste fenômeno, é a colocação de material de alta permeabilidade entre o solo e o dreno, que tem como funções principais impedir o carreamento de partículas e facilitar a entrada de água (WILLARDSON, 1974). O uso desses envoltórios associados a drenos tubulares é particularmente

importante em solos de baixa coesão, em geral constituídos por silte ou areia fina (LUTHIN, 1968).

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação do desempenho de alguns materiais usados como envoltórios de drenos tubulares, analisando-se a eficiência da drenagem, com base no carreamento de solo e na lâmina líquida escoada.

O experimento foi conduzido em tanques planejados para reproduzir aproximadamente a geometria e as condições de instalação de drenos tubulares no campo, sendo o tempo de coleta de dados em cada repetição de 3 a 4 semanas.

Devido ao grande número de materiais recomendados para a confecção de envoltórios, que podem ser combinados entre si ou usados com diferentes espessura em torno do dreno, e considerando que para cada tipo de solo haverá um envoltório mais adequado tanto no aspecto técnico como no econômico, muitas pesquisas deverão ser realizadas para solucionar os problemas da drenagem agrícola. Espera-se que este trabalho venha a contribuir para tal intento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os sistemas de drenagem subterrânea podem ser constituídos por diferentes tipos de drenos, tais como: canais de terra, drenos tubulares, feixes de bambu e drenos livres (mole drains). Vários fatores contribuem para a seleção de um tipo de dreno, podendo-se citar como exemplo, a topografia do terreno, as características do solo e o regime pluviométrico (DONNAN e SCHWAB, 1974; MILLAR, 1978).

A opção por drenos tubulares leva a um alto investimento inicial decorrente do seu custo de aquisição e instalação no campo. Por outro lado, pode-se esperar desses drenos maior vida útil, pouca manutenção e quando comparados a canais de terra, maior rendimento nas operações mecanizadas (RAADSMA, 1947). Os tipos mais difundidos são: as manilhas cerâmicas, os tubos plásticos de p.v.c. ou polietileno e os tubos de concreto (CRUCIANI, 1980).

Segundo CAVELAARS (1974), em geral é preferível o uso de drenos tubulares para a função de alívio, deixando aos canais a função de coletores. BATISTA et alii (1984) afirmam que só nos EEUU há 40 milhões de hectares recuperados por sistemas de drenos tubulares.

Diversos relatos tem sido feitos sobre o colapso ou falha de sistemas de drenos tubulares. De acordo com SUTTON (1952), em uma área de Ohio, EEUU, 165 sistemas constituídos de manilhas cerâmicas precisaram ser recuperados após funcionarem por 30 a 40 anos. As causas que levaram ao colapso foram: manutenção inadequada ou insuficiente (28% dos casos), falhas durante a instalação dos drenos (23%), projetos mal elaborados (28%) e má qualidade das manilhas (21%). O autor cita como causa frequente de problemas, o uso de manilhas de pequeno diâmetro, espaçamento muito grande entre linhas, entupimento de manilhas por solo ou raízes, desalinhamento e quebra de manilhas, declividade inadequada ou invertida nas linhas de drenos e instalação inadequada em solos arenosos de baixa coesão e solos orgânicos. Outro problema importante é a deposição de óxidos insolúveis de ferro ou manganês nas aberturas dos drenos, o que impede a entrada da água (MACKENZIE, 1962; GRASS, 1969).

Dentre os problemas citados, muitos podem ter solução apenas com uma supervisão cuidadosa da instalação das linhas de drenos; outros são resolvidos por processos químicos, como o uso de gás sulfídrico para dissolver as deposi-

ções de Óxido de ferro. Com relação ao entupimento de drenos por solo, sabe-se que são dois os aspectos principais a ser solucionados: que solos são mais propensos ao carreamento e qual a forma de evitá-lo.

Segundo GULATI et alii (1970), o carreamento de partículas de solo para o interior de drenos tubulares é mais acentuado em solos não coesivos, com textura variando desde silte grosso até areia média; os solos coesivos e os de textura grossa bem graduados são resistentes ao carreamento. GRASS e MACKENZIE (1972) citam apenas o silte como causa comum de entupimento de drenos. LUTHIN (1968) afirma que o problema ocorre em solos instáveis constituídos por silte ou areia fina mal estruturada; solos com alta porcentagem de argila e matéria orgânica apresentam coesão suficiente para resistir à quebra dos grandes agregados e impedir o carreamento de partículas individuais. O autor afirma ainda que ocorre a entrada de partículas nos drenos quando se usa água para promover a estabilização do solo usado no preenchimento das valetas, com o que concordam GRASS e MACKENZIE (1972).

VARGAS (1978) explica que por efeito da percolação, surge na água que preencher os poros do solo, em cada ponto do terreno, uma pressão correspondente à altura em que a água subiria num piezômetro colocado neste ponto. Considerando uma malha quadrangular isolada em um canal de fluxo, compreendida entre duas linhas equipotenciais, o autor afirma que da diferença de pressão existente entre as faces de

entrada e saída da malha resulta uma força que age na direção do fluxo. Essa força dividida pelo volume da malha é a força de percolação por unidade de volume, que é um vetor cuja direção é a da linha de fluxo e o módulo é:

$$|\vec{p}| = |\vec{i}| \gamma_0$$

onde

$\vec{i}$ é o gradiente hidráulico médio na malha considerada.

γ_0 é o peso específico da água.

Segundo LUTHIN (1968), quando um fluxo ascendente emerge do solo, a força de percolação tende a deslocar e elevar partículas. O desarranjo ocasionado na superfície reduz a resistência da massa de solo à subpressão e progressivamente o processo se estende ao sub-solo. A força de percolação, vertical e ascendente, supera o peso da massa de solo fazendo com que as partículas pareçam estar flutuando sem coesão e capacidade de sustentação, resultando a condição conhecida por "areia movediça".

A força de percolação não depende da condutividade hidráulica do solo ou da densidade de fluxo e alcança seu maior valor na interface solo-dreno, que é a zona de maior convergência das linha de fluxo e onde ocorrem os gradientes máximos. A este valor máximo dá-se o nome de gradiente hidráulico de saída.

Denomina-se gradiente crítico de ruptura hidráulica o gradiente que dá origem a forças de percolação ca

pazes de promover a desagregação e o carreamento de partículas de solo. Se o gradiente de saída atingir o valor do gradiente de ruptura hidráulica haverá carreamento de partículas (SAMANI e WILLARDSON, 1981).

Segundo BATISTA (1980), o gradiente de ruptura hidráulica está diretamente relacionado com o índice de plasticidade e a densidade global de um determinado solo. Em outras palavras, solos de textura fina e solos adensados oferecem maior resistência às forças de percolação.

Nos casos em que o solo drenado tem pouca resistência ao arraste de partículas, recomenda-se a colocação de envoltórios ao redor dos drenos tubulares. Esses envoltórios de drenos são também conhecidos por envelopes ou filtros e são confeccionados com material orgânico como fibra de coco, palha, serragem, sabugo de milho e turfa ou com material inorgânico como areia, pedra britada, pedregulho, fibra de vidro, geomembranas de poliéster ou polipropileno, além de outros materiais (BATISTA, 1983).

Segundo HOLANDA (1984), nos primeiros projetos de drenagem subterrânea executados na Europa, os tubos de drenagem eram cobertos com uma camada de material orgânico a fim de facilitar o fluxo de água para as tubulações e evitar que partículas de solo penetrassem nos tubos entupindo-os. Porém, a colocação desses materiais era muito trabalhosa e nem sempre havia disponibilidade de quantidade necessária. Com a

progressiva mecanização das operações de drenagem pesquisou-se novos materiais que pudessem ser produzidos em forma de faixa, começando com materiais tradicionais como flocos de turfa, palha de linho, fibra de coco, evoluindo mais tarde para folhas finas de fibra de vidro e com tendência atual para uso de tecidos de fibra sintética. Este último material tem se mostrado particularmente apropriado para uso nas máquinas de instalação de tubos.

Segundo WILLARDSON (1984), o emprego de envoltórios é importante por proporcionar uma base adequada para o assentamento dos drenos, auxiliar a estabilização do solo empregado para preencher as valetas, prover a zona vizinha às aberturas dos drenos de material mais permeável que o solo circundante e impedir o carreamento das partículas do solo que podem se depositar e obstruir os drenos.

Há na literatura consultada relatos discordantes quanto à função que devem exercer os envoltórios e os materiais mais apropriados para sua confecção. As principais divergências referem-se à espessura do envoltório em torno dos drenos e se a forma de atuação deve ser aquela exercida por uma filtro. Esta é também a razão para a existência de dois termos para designar os envoltórios: filtros e envelopes.

PIZARRO (1975) comenta a necessidade de impedir o carreamento de partículas de solo, e ao mesmo tempo augmentar a permeabilidade da zona junto às aberturas do dreno.

Para o autor, essa ação simultânea exigiria do material selecionado características opostas: para impedir o carreamento o material escolhido deveria ter textura fina e poros pequenos, mas para aumentar a permeabilidade seria necessário material de textura grossa.

Pela definição do Soil Conservation Service (EEUU, 1971), filtro é o material permeável colocado ao redor de um dreno com o propósito de impedir a entrada de partículas finas do solo adjacente. Como envelope, os autores definem o material permeável colocado ao redor de um dreno com o propósito de melhorar as condições de fluxo na área circundante e também de facilitar o assentamento de tubos ou manilhas. Os autores sugerem um roteiro para determinação da necessidade de filtro ou envelope com base no tipo de solo a ser drenado (Tabela 1) e estabelecem critérios para seleção dos materiais usados na confecção dos envoltórios.

WILLARDSON (1974) afirma que a função de um filtro é reter partículas em suspensão num fluido e por isso sua permeabilidade diminui com o tempo, tendendo ao entupimento. Por outro lado, deve-se colocar material de textura grossa ao redor dos drenos para auxiliar a estabilização mecânica e hidráulica do solo, sendo essa a função de um envelope.

BATISTA (1983) apresenta uma definição mais completa de envelope ao considerar as condições que geram a desagregação e o movimento de partículas. Segundo o autor, envelope é todo o material colocado entre um dreno tubular e o solo, que por ser de condutividade hidráulica bastante maior que aquela da camada de solo próxima do dreno, propicia uma redução do gradiente hidráulico nas proximidades deste, o que em consequência resulta em baixa velocidade de fluxo nos poros do solo. Essa redução de velocidade de fluxo da água na interface solo-envelope e suas proximidades faz com que o carreamento de partículas para o interior do dreno seja pequeno ou praticamente nulo. Baseado nesse conceito, o autor afirma que se a redução do gradiente hidráulico de saída propiciada pelo envoltório for suficiente para torná-lo menor que o gradiente de ruptura hidráulica do solo, não ocorrerá carreamento de partículas. Conclui também que, para solos com baixo gradiente crítico de ruptura hidráulica, a espessura do envelope deverá ser maior.

Estas conclusões concordam com os resultados obtidos por WESSELING e HOMMA (1967), ao estudarem a resistência a entrada de água oferecida por um tubo perfurado com 4 cm de diâmetro instalado em um lisímetro. Cinco tratamentos foram testados, sendo o de menor espessura o dreno sem envoltório seguido por uma camada de fibra de vidro envolvendo o dreno, duas camadas de fibra de vidro, cinco camadas de fibra de vidro e 1 cm de lã de vidro. Constatou-se que a re-

sistência à entrada de água decresceu com o aumento da espessura dos envoltórios.

SAMANI e WILLARDSON (1981) deduziram uma equação para estimar o gradiente crítico de ruptura hidráulica de solos dos EEUU, com base na condutividade hidráulica em condições de saturação e índice de plasticidade. Através de exemplo mostraram a possibilidade de calcular a espessura adequada para envelopes, sem adotar porém qualquer critério referente à condutividade hidráulica do material.

Quanto aos materiais orgânicos usados na confecção de envoltórios, sabe-se que tem largo emprego em regiões de clima temperado, onde as condições para oxidação não são intensas. Sua qualidade varia também com a distribuição do tamanho das partículas que compõe o material. Brownscombe (citado por WILLARDSON, 1974) relata inspeção feita em sistemas de drenagem no Canadá, onde usou-se palha e lascas da madeira como envoltório. A palha mostrou-se eficiente no controle do carreamento de partículas e sofreu decomposição moderada após 11 anos no solo. Observou-se o desenvolvimento de buracos na palha situada abaixo dos tubos, o que poderia provocar desalinhamento em solos menos estáveis. As lascas de madeira sofreram somente uma pequena deterioração após 9 anos dentro do solo. O autor recomenda o uso de 15 cm de material solto, para que, após a compressão sofrida durante o fecha-

mento da valeta, obtenha-se um envoltório de no mínimo 8 cm de espessura.

Segundo SERAPHIM (1982), a partir de 1967 surgiram no mercado mantas sintéticas fabricadas a partir de fibras e filamentos de poliamida, polipropileno e poliéster, que receberam a denominação de geotêxteis não tecidos. O material assemelha-se a um feltro e tem sido usado como envoltório, sozinho ou associado a material granular.

SILVA (1983) afirma que a presença do geotêxtil possibilita a auto formação de uma zona permeável entre o solo e o dreno. Por ser um elemento contínuo, formado por um emaranhado aleatório de filamentos, o geotêxtil seleciona as partículas de solo retidas na sua superfície. No início do processo, as partículas finas atravessam o geotêxtil levadas pela água drenada, permanecendo as partículas grossas, o que ocasiona a formação de uma camada mais permeável que o solo. Isto pode ser constatado após a estabilização do processo pela alteração do índice de vazios na camada citada. O autor cita ainda alguns fatores favoráveis aos geotêxteis, tais como: ser imputrescíveis, apresentar alta permeabilidade (da ordem de 0,1 cm/s), dispensar cálculos granulométricos necesários aos filtros de areia e ser de fácil colocação ao re

dor do dreno, exigindo menos mão-de-obra que a instalação de materiais granulares.

Os tubos plásticos flexíveis podem ser enca-
pados facilmente com uma "camisa" de geotêxtil previamente pre-
parada na indústria. Em regiões onde não há material granular
próximo da área a ser drenada, o geotêxtil é uma boa opção,
pois seu reduzido peso facilita o transporte além da vantagem
de poder ser obtido em qualquer quantidade, o que torna seu
uso bastante cômodo.

SILVA (1983) relata que a partir de 1977 de-
senvolveram-se as chamadas "mantas de segunda geração" ou "man-
tas híbridas", que se caracterizam por apresentar duas ou
três camadas de permeabilidade distinta superpostas. Geral-
mente apresentam uma camada formada por fibras grossas (poro-
metria grande), destinada a satisfazer os requisitos de boa
drenabilidade e filtrabilidade, e uma ou duas camadas de fi-
bras finas (porometria menor), destinadas a atuar como bar-
reira anti-contaminação ou anti-colmatação. Segundo o autor,
para o desenvolvimento de tubos de drenagem, a manta com estra-
tificação porométrica dupla seria a mais indicada, deixando-se
a face anti-contaminante em contato com o solo para impedir
o carreamento de partículas.

Há na literatura referências sobre outros tipos de materiais sintéticos aplicáveis a sistemas de drenagem, como os véus de fibra de vidro ou nylon e as calhas de lã de vidro rígidas. Sua aceitação no entanto não é grande pelos problemas que apresentam. As calhas de fibra de vidro rígidas podem sofrer quebras e amolgamentos durante o transporte e manuseio, além de provocarem alergia e dermatites em certas pessoas após contato prolongado. Os véus não permitem o aproveitamento da componente horizontal do fluxo devido a sua reduzida espessura, além de estarem sujeitas à ocorrência de colmatação química por precipitação de sais de ferro (véu de fibra de vidro) e bloqueio por partículas finas (WILLARDSON, 1974; SILVA, 1983).

Diversas pesquisas tem sido feitas com o objetivo de analisar o desempenho dos diferentes envoltórios disponíveis. O principal aspecto enfocado tem sido a necessidade do uso de envoltório em solos de baixa coesão, visando incrementar a vazão e impedir o carreamento de partículas do solo para o interior dos drenos. Os experimentos relatados apresentam-se muitas vezes bastante específicos para condições locais, o que impede extrapolação de resultados. Sua análise é, no entanto, muito importante em países onde não há tradição no emprego de drenos tubulares, pois permite a identificação de linhas gerais de conduta.

DAVIS et alii (1971) estudaram a vazão de manilha cerâmica, de dreno de concreto e de dreno plástico cor

rugado com envoltório de brita, areia natural e areia isenta de partículas finas, totalizando nove combinações que foram testadas em duas repetições em solo arenoso. Foram testadas sem repetição, manilha cerâmica e dreno de concreto sem envoltório, dreno de concreto envolto por areia com partículas finas, dreno plástico envolto com uma capa proposta por WILLARDSON et alii (1968) para controlar a velocidade de entrada da água nos drenos, dreno de concreto com a mesma capa, manilha cerâmica envolto por filtro de cascalho e areia, e dreno de concreto envolto por pedregulhos com 3,1 mm de diâmetro. As menores vazões registradas foram as dos drenos instalados sem envoltório e com a capa para controle de velocidade de entrada da água. Todas as demais combinações funcionaram satisfatoriamente.

WILLARDSON et alii (1975) trabalhando em solo franco arenoso, testaram o desempenho de dois tipos de envoltórios de 7,5 cm de espessura em drenos de concreto. O primeiro envoltório foi confeccionado com areia natural pura e o segundo com areia acrescida de 5% de solo. Testou-se também três forams de estabilização do solo colocado nas valetas: inundação do solo com a saída da linha de drenos fechada, inundação com saída da linha aberta e aspersão com a saída da linha fechada. Os resultados de vazão e altura do lençol freático mostraram que os drenos instalados com envoltório de areia pura tiveram desempenho nitidamente superior. As diferentes formas de aplicar água para auxiliar a estabilização

do solo não provocaram efeito relevante.

AL-SOUFI (1981) propôs o emprego de envoltório confeccionado com agregados de solo com 2 a 12,25 mm de diâmetro, recobertos com emulsão de betume. Foram instalados em um lisímetro dois drenos tubulares de 40 mm de diâmetro, um envolto por 10 cm de brita e o outro por 10 cm de agregados cobertos com betume. O solo colocado no lisímetro foi franco siltoso. Após 90 dias sob carga hidráulica de 30 cm, os resultados mostraram que a vazão produzida pelo dreno envolto com os agregados recobertos por betume foi três vezes maior que a do outro tratamento, indicando a estabilidade e a alta permeabilidade do material testado.

BROUGHTON et alii (1982) realizaram experimento a campo em solo franco arenoso, testando os seguintes tratamentos: dreno corrugado de 100 mm de diâmetro e 54 cm²/m de área aberta envolto com geotêxteis de 20, 27 e 119g/m², envolto com tela de nylon e sem envoltório; dreno de 80 mm de diâmetro envolto por brita e dreno corrugado de 100 mm de diâmetro com área aberta de 33 cm²/m sem envoltório. Após 4 anos de avaliação, os autores concluíram que os envoltórios de brita, tela de nylon e geotêxtil de 119 g/m² possibilitaram as maiores taxas de drenagem e a menor entrada de sedimentos nos drenos. Os drenos instalados sem envoltório encheram-se de areia fina e os geotêxteis de menor gramatura sofreram muitos danos por abrasão.

BATISTA et alii (1984), em experimento feito a campo, testaram dois envoltórios, sendo o primeiro de brita com 10 cm de espessura em toda a volta do dreno e o outro de geotêxtil BIDIM OP-20 envolvendo dreno e brita, com esta colocada apenas na parte inferior do tubo. Trinta e seis poços de observação foram instalados para acompanhar a oscilação do lençol freático. Os resultados obtidos mostraram que o comportamento dos dois tratamentos testados foi semelhante.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Tanques de alvenaria

O experimento foi instalado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, estado de Santa Catarina.

Construiu-se no local sete tanques de alvenaria, com revestimento interno de argamassa e de impermeabilizantes a base de silicone. As paredes foram erguidas sobre uma base de concreto, ficando cada unidade com 1,5 m de altura, 1,0 m de comprimento e 0,8 m de largura, medidos na parte interna.

No interior de cada tanque foi instalado um dreno tubular, com saída provida de tampa na parede frontal. O dreno ficou a 0,4 m de cada parede lateral e a 0,4 m acima do fundo do tanque. Duas entradas de água foram colocadas junto ao fundo da parede frontal, ambas ligadas a um

registro que permitia o enchimento individual de cada tanque com água da rede urbana. Nas Figuras 1, 2 e 3 estão representados os tanques com suas características e dimensões.

O dreno utilizado foi de p.v.c. rígido corrugado marca "Tigre", com 50 mm de diâmetro interno e perfurações circulares de 4,5 mm de diâmetro em toda a sua extensão. O tubo comercial de 6 m de comprimento foi cortado em pedaços de 1,2 m para a colocação nos tanques. A parte útil para drenagem ficou com 1,0 m de comprimento, 156 perfurações e 24,8 cm² de área aberta, aproximadamente. A colocação dos tubos foi feita de modo a permitir a entrada de água somente através dos orifícios do dreno, vedando-se bem as extremidades.

O espaço interno do tanque foi destinado à colocação de solo e de um envoltório ao redor do tubo de drenagem. A estrutura foi planejada para permitir a saturação do solo por fluxo ascendente e a formação de uma coluna de água de 1,1 m sobre o dreno. Este valor está compreendido dentro dos limites normais de instalação de drenos tubulares no campo.

3.2. Solo

O solo utilizado no experimento foi coletado no mangue do rio Itacorubi, em Florianópolis, sendo classificado como solo Aluvial Distrófico. A escolha se deu em fun-

ção de ser este um solo bastante representativo na região li torânea do estado de Santa Catarina.

A coleta foi realizada na camada de 0 a 20 cm de profundidade, devido à homogeneidade do solo aí presente, que apresentou textura franco arenosa e ausência de estrutura (grãos simples). A figura 4 apresenta a curva granulométrica do material coletado, onde se nota a predominância da fração areia e a boa graduação de partículas pela presença de todas as frações granulométricas. As proporções relativas foram: 6% de pedregulho, 44% de areia grossa, 30% de areia fina, 2% de silte e 18% de argila. A densidade do solo no campo foi 1,52 g/cm³ e a densidade de partículas 2,65 g/cm³.

Com a colocação do solo coletado nos tanques, obteve-se um material que segundo a Classificação Unificada dos Solos (VARGAS, 1978), pertence ao tipo SC. O apêndice I apresenta a Classificação Unificada dos Solos.

A Tabela 1 apresenta recomendações sobre a necessidade de filtro ou envelope, com base nos tipos de solo definidos pela Classificação Unificada. Observando-se a referida tabela, nota-se que os solos foram divididos em três grupos: o primeiro onde os solos relacionados requerem a proteção de um filtro, o segundo onde o filtro é opcional e o terceiro, onde os solos não necessitam filtro. O solo selecionado para o experimento, classificado como SC, pertence ao segundo grupo da Tabela 1, ou seja, há uma expectativa de que possa ocorrer carreamento de partículas para o dreno na ausência de filtro ou envelope.

escala 1:40

Legenda:

- 1. Saída do dreno
- 2. Entrada de água

Figural. Aspecto geral do conjunto de tanques

escala 1:16

Legenda:

1. Parede do tanque
2. Tubo de drenagem
3. Saída do tubo de drenagem e tampa
4. Sistema de fornecimento de água
5. Mangueira para distribuição da água no fundo do tanque

Figura 2. Planta baixa de um dos tanques

Figura 4. Curva granulométrica do solo utilizado no experimento

Tabela 1. Determinação da necessidade de filtros e envelopes para drenos, com base no tipo de solo.

Classificação Unificada dos Solos	Primeiro Grupo de Solos - Descrição -
SP (fino)	Areias com má graduação, areias pedregulhosas
SM (fino)	Areias siltosas, misturas de areia e silte com má graduação
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas siltosas ou argilosas com pequena plasticidade
MH	Siltes inorgânicos, areia fina, solos siltosos micáceos ou diatomáceos, siltes elásticos
Considerações:	
Filtro	Sempre necessário
Envelope	Desnecessário quando se usar filtro de pedregulho e areia, mas recomendável com drenos tubulares flexíveis associados a outro tipo de filtro
Vel. da água	Nenhuma recomendação

Continua

Tabela 1. Continuação

Classificação Unificada dos Solos	Segundo Grupo de Solos - Descrição -
GP	Pedregulhos com má gradação, misturas de cascalho e areia com pouco ou nenhum fino
SC	Areias argilosas, misturas de areia e argila com má gradação.
GM	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte com má gradação
SM (grosso)	Areias siltosas, misturas de areia e silte com má gradação
Considerações:	
Filtro	Decisão de uso condicionada ao exame das condições locais
Envelope	Desnecessário quando se usar filtro de pedregulho e areia, mas recomendável com drenos tubulares flexíveis associados a outro tipo de filtro
Vel. da água	Com uso de filtro, nenhuma recomendação; sem filtro velocidade mínima de 0,43 m/s

Continua

Tabela 1. Continuação

Classificação Unificada dos Solos	Terceiro Grupo de Solos - Descrição -
GC	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregu <u>l</u> ho, areia e argila com má gradação
CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plas <u>t</u> icidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas e argilas siltosas
SP, GP (grosso)	Iguais aos solos SP e GP já citados
GW	Pedregulhos com boa gradação, misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino
SW	Areias com boa gradação, areias pedregulho <u>s</u> com pouco ou nenhum fino
CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
OL	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgâni <u>c</u> os de baixa plasticidade
OH	Argilas orgânicas de média e alta plasti <u>c</u> idade
Pt	Solos com elevado teor de matéria orgânica
Considerações:	
Filtro	Desnecessário
Envelope	Opcional. Pode ser necessário com dreno tu <u>b</u> ular flexível
Vel. da água	Nenhuma recomendação para solos com pouco ou nenhum fino. Para solos com finos veloci <u>d</u> ade mínima de 0,43 m/s

Fonte: EEUU U.S. Departament of agriculture. Soil Conservation Service, 1971. Drainage for Agricultural Lands. Port Washington. 460p.

3.3. Envoltórios

3.3.1. Tipos escolhidos

Foram escolhidos para o experimento três tipos de envoltório de grande aceitação e de largo emprego, que deram origem a sete tratamentos.

O primeiro tipo escolhido foi o filtro de pedregulho e areia recomendado pelo Soil Conservation Service (EEUU, 1971), para o qual há especificações tanto de espessura como de gradação de partículas. Sua concepção está baseada no conceito de um filtro, devendo portanto reter partículas de solo carregadas pela água percolada.

O segundo tipo de envoltório, que deu origem a três tratamentos, foi baseado no conceito de envelope, ou seja, sua habilidade de impedir o carreamento deve-se à redução do gradiente hidráulico na zona próxima ao dreno em função da espessura e da alta condutibilidade hidráulica do material. Não há qualquer recomendação quanto a gradação de partículas.

O terceiro tipo de envoltório, que deu origem a dois tratamentos, é o geotêxtil não tecido, que difere dos tipos anteriores por apresentar espessura muito fina (3 mm) e ser feito de material sintético. Finalmente, para propiciar um maior contraste entre os três tipos citados, foi incluí-

do um tratamento que consistiu de um dreno tubular sem nenhum envoltório.

Nos itens 3.3.2. a 3.3.5. apresenta-se com detalhes as características dos materiais empregados na confecção dos sete tratamentos.

3.3.2. Filtro de pedregulho e areia

O material empregado na confecção do filtro de pedregulho e areia consistiu de partículas minerais de diferentes dimensões, em proporções calculadas a partir de sete recomendações elaboradas pelo Soil Conservation Service. (EEUU, 1971).

1 - Valor máximo para $D_{50}^{(*)}$ filtro = D_{50} solo x 58

Valor mínimo para D_{50} filtro = D_{50} solo x 12

Na curva granulométrica do solo, representada na Figura 5, encontrou-se D_{50} solo = 0,44 mm. Isto indica que a metade das partículas do solo selecionado possui diâmetro menor que 0,44 mm.

D_{50} filtro máximo = $0,44 \text{ mm} \times 58 = 26 \text{ mm}$

D_{50} filtro mínimo = $0,44 \text{ mm} \times 12 = 5,3 \text{ mm}$

(*) O valor numérico D_n , expresso em milímetros, indica que n% das partículas de um solo possui diâmetro menor ou igual a este valor.

Portanto: $5,3 \text{ mm} < D_{50} \text{ filtro} < 26 \text{ mm}$

2 - Valor máximo para $D_{15} \text{ filtro} = D_{15} \times 40$

Valor mínimo para $D_{15} \text{ filtro} = D_{15} \times 12$

Na figura 5 encontrou-se $D_{15} \text{ solo} = 0,0017 \text{ mm}$.

Isto indica que 15% das partículas do solo coletado possui diâmetro menor que $0,0017 \text{ mm}$.

$D_{15} \text{ filtro máximo} = 0,0017 \text{ mm} \times 40 = 0,068 \text{ mm}$

$D_{15} \text{ filtro mínimo} = 0,0017 \text{ mm} \times 12 = 0,020 \text{ mm}$

Portanto: $0,020 \text{ mm} < D_{15} \text{ filtro} < 0,068 \text{ mm}$

De posse desses resultados foi possível traçar na figura 5 o intervalo onde deveria estar a curva granulométrica do filtro. Este intervalo está representado à direita da curva granulométrica do solo porque as partículas do filtro devem ter diâmetro maior que as do solo. Os limites do intervalo foram traçados de modo a ficar aproximadamente paralelos à curva granulométrica do solo, sendo que o limite inferior passou sobre os valores mínimos de D_{15} e D_{50} filtro e o limite superior passou sobre os valores máximos de D_{15} e D_{50} filtro.

3 - $D_{15} \text{ filtro máximo} + D_{85} < 5$

Na figura 5 encontrou-se $D_{85} \text{ solo} = 1,25 \text{ mm}$.

Isto indica que 85% das partículas do solo selecionado possui diâmetro menor que $1,25 \text{ mm}$.

$D_{15} \text{ filtro máximo} = 0,068 \text{ mm}$

$0,068 \text{ mm} + 1,25 \text{ mm} = 0,054 < 5$ (especificação atendida)

Segundo os autores, valores menores que 5 as seguram a estabilidade do filtro.

4 - D100 filtro < 38,1 mm (1,5 polegada)

A especificação pede que não haja no filtro partículas de diâmetro maior que 38,1 mm. Para atendê-lo traçou-se na Figura 5 uma linha pontilhada na vertical representativa do diâmetro 38,1 mm. A curva granulométrica do filtro ficou restrita ao lado esquerdo da linha pontilhada.

5 - D90 filtro < 19,1 mm (3/4 polegada)

A especificação pede que 90% das partículas tenha diâmetro menor que 19,1 mm. Marcou-se na Figura 5 um ponto na interseção da horizontal D90 com a vertical 19,1 mm. A curva granulométrica do filtro passou sobre este ponto para que fosse atendida a especificação.

As especificações 4 e 5 restringiram o tamanho máximo das partículas do filtro, visando evitar avarias nos tubos ou desalinhamento, além de prevenir a excessiva se gregação de partículas durante sua disposição ao redor do dreno.

6 - D10 filtro > = 0,25 mm

Esta especificação pede que não mais de 10% das partículas do filtro, tenha diâmetro menor que 0,25 mm.

Verificou-se aí uma discordância com a especificação nº 2, que estabeleceu para D15 filtro o valor máxiu

Figura 5. Curva granulométrica do filtro de pedregulho e areia

mo de 0,068 mm. Na impossibilidade de se atender às duas especificações, optou-se pela de nº 6, cuja função é de evitar o excesso de partículas finas no filtro, que são facilmente carreadas pela água drenada. Para atender a especificação nº 6, traçou-se uma linha pontilhada na vertical representativa do diâmetro 0,25 mm. A curva granulométrica do filtro ficou restrita ao lado direito da linha pontilhada.

7 - A última especificação recomenda que a espessura do filtro seja maior ou igual a 7,62 cm (3 polegadas). Adotou-se no experimento a espessura de 10 cm.

Após a obtenção do intervalo que deveria conter a curva granulométrica do filtro, passou-se à confecção do mesmo. Face à inexistência de material natural com as características exigidas, o filtro foi composto a partir de diferentes materiais que foram peneirados e misturados. A curva granulométrica do filtro obtido encontra-se representada na Figura 5.

3.3.3. Envelopes de brita

Para a confecção dos envelopes de brita empregou-se brita nº 1, cujo diâmetro varia entre 1,0 e 2,0 cm. A graduação do material não foi relevante por não se tratar de filtro.

A recomendação para espessura desse envelope

varia entre 8 e 10 cm (EEUU, 1971; WILLARDSON, 1974). Resoluveu-se com base nesse valor adotar 3 tratamentos diferentes: 10, 5 e 2,5 cm de espessura. O objetivo foi o de tentar identificar alterações no desempenho, em função da variação da zona de alta permeabilidade ao redor do dreno.

3.3.4. Envoltório de geotêxtil Ober-851

O geotêxtil não tecido Ober-851 é uma manta sintética confeccionada com fibras de polipropileno, cuja densidade superficial é de 300 g/m². Sua espessura é de aproximadamente 3 mm e a condutividade hidráulica está em torno de 0,1 cm/s (SILVA, 1983; SÃO PAULO, 1981).

Usou-se no experimento uma faixa de Geotêxtil com 1,1 m de comprimento por 0,2 m de largura. O Geotêxtil foi enrolado no dreno tubular, sendo amarrado com fio de nylon em laçadas helicoidais sobre o eixo do tubo, dadas a espaços regulares. A largura da faixa empregada permitiu uma sobreposição de 20 a 25% do diâmetro do dreno.

3.3.5. Envoltório de Geotêxtil Bidim OP-30

O Geotêxtil não tecido Bidim OP-30 é uma manta sintética fabricada a partir de filamentos contínuos de poliéster interligados mecanicamente por agulhagem. A densidade superficial é de 300 g/m² e a espessura é de 3,5 mm aprox

ximadamente. Sua condutividade hidráulica é da ordem de 0,1 cm/s (SERAPHIM, 1982; SÃO PAULO, 1975).

O procedimento de instalação foi o mesmo descrito para o Geotêxtil OBER-851.

3.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 7 tratamentos e 3 repetições, totalizando 21 parcelas (GOMES, 1984). Os tratamentos foram assim enumerados:

Tratamento 1 - Filtro de pedregulho e areia com 10 cm de espessura;

Tratamento 2 - Envelope de brita nº 1 com 10 cm de espessura;

Tratamento 3 - Envelope de brita nº 1 com 5 cm de espessura;

Tratamento 4 - Envelope de brita nº 1 com 2,5 cm de espessura;

Tratamento 5 - Geotêxtil Ober-851;

Tratamento 6 - Geotêxtil Bidim OP-30;

Tratamento 7 - Ausência de envoltório.

Através de sorteio determinou-se a posição de cada tratamento no conjunto de tanques, obtendo-se o re-

sultado expresso na Tabela 2.

Por se ter construído apenas 7 tanques, as repetições não puderam ser feitas simultaneamente, o que justifica o delineamento experimental adotado.

O desempenho dos envoltórios foi avaliado a partir de dados coletados durante a drenagem dos tanques, conforme será discutido no próximo item.

Tabela 2. Disposição dos tratamentos nos tanques em cada repetição

Blocos ou Repetições	Tanques						
	A	B	C	D	E	F	G
1ª	4	6	2	3	1	5	7
2ª	2	6	3	1	7	5	4
3ª	7	2	5	6	1	4	3

3.5. Procedimentos experimentais

A preparação dos tanques foi iniciada com a colocação de uma camada de brita nº 1 em seu fundo, com 4 a 5 cm de altura, seguida de adição de areia grossa suficiente para ocupar os espaços maiores entre as pedras. A finalidade foi obter uma zona de elevada permeabilidade, que auxiliasse a saturação uniforme do solo através do fluxo ascendente.

A ação seguinte foi o enchimento dos tanques com solo até a altura de 30 cm, para permitir a colocação dos envoltórios. Naqueles tanques onde o sorteio indicou o uso dos geotêxteis, estes foram enrolados e amarrados aos tubos e nos outros o material granular foi colocado ao redor dos drenos obedecendo a espessura pré-estabelecida. A seguir teve continuidade a colocação de solo. A Figura 6 mostra um tanque com envoltório de brita nº 1.

Em cada repetição foram usados aproximadamente 11.000 quilogramas de solo, distribuídos em volumes iguais nos sete tanques. Para auxiliar a acomodação deste solo, procedeu-se a sua saturação e drenagem por várias vezes, antes do início da coleta de dados. Isto resultou num abaixamento do nível do solo nos tanques, que para as vinte e uma parcelas experimentais apresentou valor médio de 0,13 m. O fato de se trabalhar com solo sem estrutura (grãos simples) e textura franco-arenosa, facilitou a ação homogeneizatória da água sobre a densidade do solo contido nos tanques.

No final da primeira e da segunda repetição, todo o material contido nos tanques foi retirado, fez-se a limpeza das 7 unidades e iniciou-se nova preparação, seguindo o procedimento já descrito. Não houve reaproveitamento de solo ou qualquer outro material.

A obtenção dos parâmetros experimentais foi feita a partir da elaboração de dados de vazão e massa de solo carreado pela água, obtidos durante a drenagem dos tan-

ques.

Seis horas antes do início da coleta de dados, abriram-se as entradas de água para permitir a saturação do solo sob fluxo ascendente, simulando uma situação de elevação de lençol freático; quando a água atingiu o topo dos tanques cortou-se o fornecimento. A retirada da tampa dos drenos deu início à contagem do tempo de rebaixamento do lençol freático. A partir deste momento, e em tempos pré-estabelecidos, foram feitas medições de vazão e coletas de água para avaliar a quantidade de solo em suspensão. A Tabela 3 apresenta os tempos em que foram feitas as medições de vazão.

Tabela 3. Início das medições de vazão, volume dos recipientes utilizados e intervalos de medição de vazão

Início das Medições	Volume Coletado (litros)	Intervalo de Coleta (minutos)
5 segundos ^{a/}	10,6	variável
4 minutos	10,6	variável
12 minutos	10,6	variável
24 minutos	10,6	variável
36 minutos	7,1	variável
48 minutos	4,0	variável
72 minutos	2,5	variável
96 minutos	variável	5
120 minutos	variável	5

a/ - Tempo transcorrido após o início da drenagem

escala 1:16

Legenda:

- 1. Solo
- 2. Envolvôrio de brita nº 1
- 3. Brita nº 1 + areia grossa
- 4. Parede do tanque

Figura 6. Corte de um dos tanques com envoltório de brita

Um cronômetro digital foi usado para registrar o intervalo das medições de vazão. Cinco segundos após o início da drenagem, um balde plástico com volume de 10,6 l foi colocado sob a saída do dreno, permanecendo aí até ficar completamente cheio. Nesse momento, leu-se o tempo registrado no cronômetro, determinando o final do intervalo de coleta. Da mesma forma, aos 4, 12, 24, 36, 48, 72, 96 e 120 minutos foram colocados recipientes de volume conhecido sob a saída dos drenos, para medir a vazão escoada em vários momentos durante a drenagem dos tanques. A divisão do volume coletado pelo intervalo de tempo que durou a coleta, forneceu a vazão média no intervalo.

A Tabela 3 mostra que o volume dos recipientes empregados diminuiu com o tempo. Estes volumes foram ajustados em ensaio preliminar, para evitar sobreposição de leituras ou intervalos muito longos. Pela mesma razão, as duas últimas medições foram feitas com intervalo fixo, medindo-se o volume coletado.

Após duas horas do início da drenagem, alguns tratamentos começaram a apresentar fluxo descontínuo, o que dificultou medições precisas. Resolveu-se por isso, tomar o tempo de duas horas como base para comparação entre os tratamentos.

Todas as medições foram feitas em recipiente exclusivo e numerado. A água coletada em cada um deles foi usada para determinar a quantidade de solo carregada para o

dreno, pelo seguinte método: o conteúdo de cada recipiente foi passado através de peneira com abertura de 0,053 mm para separar a fração areia. As partículas retidas foram postas a secar em estufa, a 105-107 graus centígrados, sendo a seguir pesadas em balança analítica, com precisão de 0,1 mg. A razão entre a massa de areia e o intervalo de tempo em que se deu a coleta, forneceu a taxa de carreamento média no intervalo considerado.

A opção de reter e pesar apenas a fração areia deveu-se a duas razões: com relação a argila, sabe-se que quando a linha de drenos tem declividade adequada, essas partículas são transportadas com a água drenada sem se depositar, não causando problemas (BATISTA, 1978); quando ao silte, embora seja causa comum de obstrução de drenos, sua presença não foi considerada por ser muito pequena no solo empregado (vide Figura 4 do item 3.2., mostrando a distribuição granulométrica das partículas do solo).

Após a preparação dos tanques para o início da primeira repetição, houve problemas no abastecimento de água da rede urbana, provocando o adiamento do início da coleta de dados de novembro de 1986 para março de 1987. Na segunda e na terceira repetição, a coleta de dados teve início, respectivamente, três e duas semanas após o término da preparação dos tanques. Este fato gerou diferença na magnitude dos dados de vazão coletados na primeira repetição em relação às seguintes, o que se explica pelo maior tempo de oportuni-

dade para estruturação, que aumentou a condutividade hidráulica do solo na primeira repetição. A densidade do solo variou entre repetições, mas dentro das repetições, as condições foram semelhantes para o solo contido nos sete tanques. Isto, no entanto, não interferiu na comparação entre os tratamentos, porque o delineamento experimental adotado permitiu a separação do efeito devido a blocos. Os valores de densidade média encontrados para o solo contido nos tanques foram os seguintes: 1,35; 1,44 e 1,52 g/cm³ para as três repetições, respectivamente.

As três repetições foram realizadas no ano de 1987, sendo que na primeira delas houve coleta de dados nos dias 13, 17, 20, 24 e 27 de março, na segunda nos dias 20, 23, 26 e 30 de maio e 6 e 10 de junho, e na terceira repetição nos dias 17, 20, 24, 27 e 31 de agosto. Procurou-se manter um intervalo de 3 a 4 dias entre coletas sucessivas, sendo que apenas a do dia 30 de maio, na 2ª repetição, ficou com 6 dias de intervalo da coleta anterior. Foi feito então um 6º rebai_xamento do lençol freático na referida repetição, de modo a se ter mais dados para o cálculo da média, diluindo assim a influência de efeitos não controlados.

O encerramento das repetições foi determinado a partir da observação dos resultados obtidos. Quando as vazões nos diferentes tratamentos se aproximaram da estabilização, encerrou-se a coleta de dados. Não se teve como obje-

tivo, a análise do comportamento dos tratamentos com o tempo, de modo que os rebaixamentos foram considerados como sub-amostras coletadas para tornar os resultados mais representativos.

3.6. Lâmina líquida drenada em duas horas

As lâminas líquidas drenadas por metro de tubo em duas horas, para todos os tratamentos, foram obtidas a partir dos resultados de vazão.

Plotou-se em um gráfico os valores de vazão, em litros por minuto, no eixo das ordenadas e em escala logarítmica. No eixo das abcissas, em escala decimal, representou-se com traços horizontais os intervalos de tempo gastos nas medições de vazão e marcou-se também o ponto médio dos intervalos. A Figura 7 apresenta um exemplo de curva obtida a partir dos dados de vazão, ajustada manualmente. Foram obtidas 16 curvas semelhantes a do exemplo para cada tratamento, representando os Hidrogramas de variação de vazão dos 16 rebaixamentos do lençol freático realizados durante o experimento. O número total de curvas obtidas foi de 112.

O cálculo da área existente sob as curvas obtidas forneceu o volume drenado em litros por metro de tubo, no período de duas horas. Calculou-se também o volume drenado a cada 10 minutos, que foi acumulado e representado em gráficos denominados curvas de descarga, nas Figuras 8 a 14.

Figura 7. Hidrograma da variação de vazão durante a drenagem de tanque com dreno envolto por filtro de pedregulho e areia.

3.6.1. Processo de cálculo

O método adotado para calcular a área sob as curvas foi a Regra de Simpson, que aproxima o valor da integral

$$I = \int_{x_0}^{x_n} f(x) dx$$

onde o valor de $f(x)$ deve ser conhecido em $n+1$ pontos ($f_0 - f_n$) igualmente espaçados. A fórmula empregada foi:

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x) dx \approx h/3 (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + f_n)$$

onde $h = (x_n - x_0)/n$, $x_n > x_0$

n = número de sub-intervalos (2, 4, 6, 8, ...)

Adotou-se sub-intervalos de 5 minutos, de modo que nos tempos 0, 5, 10, 15, ... 110, 115 e 120 minutos, retirou-se pares de valores das curvas Tempo x Vazão para realizar o cálculo. Este foi feito com o auxílio de calculador programável que possui programa residente para o emprego da Regra de Simpson.

Para cada uma das 112 curvas obtidas, calculou-se o valor do volume drenado por metro de tubo em

duas horas. Obteve-se dessa forma, para cada tratamento, 5 valores de volume drenado na 1ª e na 3ª repetição e 6 valores na 2ª repetição, referentes ao número de rebaixamentos realizados. Estes resultados, considerados como sub-amostras, foram usados para o cálculo do volume médio drenado por metro de tubo, para cada tratamento, nas 3 repetições.

As lâminas líquidas drenadas por metro de tubo, foram obtidas fazendo-se a divisão do volume médio drenado por metro de tubo (m^3), pela área superficial dos tanques (m^2). Os valores foram expressos em milímetros e estão representados na Tabela 22 do Apêndice II.

3.6.2. Análise estatística

A análise de variância das lâminas líquidas drenadas por metro de tubo em duas horas, nas três repetições, foi efetuada conforme o esquema da Tabela 4. Utilizou-se o teste de Duncan a 5% de probabilidade para a comparação das médias entre tratamentos.

3.7. Lâmina mínima satisfatória

Definiu-se como lâmina de drenagem mínima satisfatória para os tratamentos, a lâmina líquida correspondente à metade da água contida nos macroporos do solo localizado acima dos drenos, mais a água da superfície dos tanques. Esse valor padrão é arbitrário, e foi criado para estabelecer o

desempenho mínimo aceitável para os tratamentos testados.

Tabela 4. Esquema de análise de variância

Causa de variação	Graus de Liberdade
Blocos	2
Tratamentos	6
Resíduo	12
Total	20

O cálculo da lâmina mínima satisfatória foi feito da seguinte forma:

a - Volume de água médio contido nos macroporos do solo (V_m)

Dados:

- altura de solo acima dos drenos (média de vinte e uma parcelas) = 96,7 cm
- área superficial dos tanques = 8.000 cm²
- macroporosidade média do solo empregado = 15% (*)

$$V_m = 96,7 \times 8.000 \times 0,15 = 116.040 \text{ cm}^3$$

(*) Valor obtido após drenagem livre de amostras indeformadas de solo, em laboratório.

b - Volume de água médio contido na superfície dos tanques (Vs)

Dados:

- altura sem solo na superfície dos tanques (média de vinte e uma parcelas) = 13,3 cm

- área superficial dos tanques = 8.000 cm²

$$Vs = 13,3 \times 8.000 = 106.400 \text{ cm}^3$$

c - Lâmina mínima satisfatória (Ls)

$$(Vm \times 0,5) + Vs$$

$$Ls = \frac{\quad}{\text{área superficial dos tanques}}$$

$$(116.040 \times 0,5) + 106.400$$

$$Ls = \frac{\quad}{8.000} = 20,55 \text{ cm} = 205,5 \text{ mm}$$

A drenagem da lâmina de 205,5 mm foi tomada como o valor mínimo para que o desempenho do tratamento pudesse ser considerado satisfatório. O tempo médio para atingir os 205,5 mm foi usado como uma forma de avaliar a velocidade de drenagem dos tratamentos testados.

3.8. Taxas de carreamento de solo

Conforme descrito no item 3.5., o carreamento de solo para os drenos foi estimado a partir da massa de

areia contida nos recipientes usados nas medições de vazão. Para cada medição de vazão obteve-se uma taxa de carreamento de solo.

Durante as duas horas de drenagem foram obtidas nove taxas de carreamento para cada tratamento, expressas em miligramas de areia por minuto, por metro de dreno. Os tempos de amostragem foram os mesmos das medições de vazão, ou seja, 5 segundos, 4, 12, 24, 48, 72, 96 e 120 minutos. As taxas médias foram calculadas dividindo-se o somatório das massas de solo coletadas nos 16 rebaixamentos, pelo somatório dos intervalos de tempo em que se deram as coletas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados originais do experimento, referentes a volumes coletados nas medições de vazão, tempo de duração das coletas de volume, massa de solo carregado com a água drenada e lâminas líquidas drenadas em duas horas por metro de tubo, para os sete tratamentos, estão contidos no Apêndice II.

4.1. Efeito dos tratamentos na lâmina líquida drenada em duas horas

A análise de variância das lâminas líquidas drenadas por metro de tubo em duas horas está apresentada na Tabela 5. O teste F mostrou resultado significativo ao nível de 5,35% de probabilidade para tratamentos. A comparação entre as lâminas médias drenadas por metro de tubo em duas horas, nos sete tratamentos, foi feita pelo teste de Duncan e

encontra-se representada na Tabela 6.

Tabela 5. Análise de variância das lâminas líquidas drenadas por metro de tubo em duas horas

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	2	217.316,22	108.658,11	116,17**
Tratamentos	6	16.564,60	2.760,77	2,95*
Resíduo	12	11.223,85	935,32	-
Total	20	245.104,67	-	-

C.V. = 14,39%

* Significativo ao nível de 5,35% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

O filtro de pedregulho e areia possibilitou a drenagem de uma lâmina de 255,8 mm em duas horas, que foi a maior entre os sete tratamentos testados. Este valor diferiu estatisticamente das lâminas drenadas pelos tratamentos geotêxtil Ober 851 e ausência de envoltório ao nível de 5% de probabilidade. Não houve diferença estatística em relação a outros tratamentos.

A segunda e a terceira lâminas, em ordem decrescente de grandeza, foram drenadas pelos envelopes de brita com 5 cm e 10 cm de espessura, com 233,3 mm e 223,9 mm respectivamente. Estes valores diferiram estatisticamente apenas da lâmina drenada pelo tratamento ausência de envoltório.

A quarta maior lâmina foi drenada pelo tratamento geotêxtil Bidim OP-30, com 221,0 mm, e a quinta maior

Tabela 6. Valores médios de lâminas líquidas drenadas por metro de tubo em duas horas

Tratamentos	Lâmina média drenada por metro de tubo em duas horas (mm)	Acréscimo em relação ao tratamento sem envoltório (%)
Filtro de pedregulho e areia	255,8 a*	55,3
Envelope de brita nº 1 com 10 cm de espessura	223,9 a b	35,9
Envelope de brita nº 1 com 5 cm de espessura	233,3 a b	41,6
Envelope de brita com 2,5 cm de espessura	200,5 a b c	21,7
Geotêxtil Ober 851	188,3 b c	14,3
Geotêxtil Bidim OP-30	221,0 a b c	34,2
Ausência de envoltório	164,7 c	-

* Valores seguidos por letras distintas diferem entre si pelo teste de DUNCAN ao nível de 5% de probabilidade.

lâmina foi aquela drenada pelo envelope de brita de 2,5 cm de espessura, com 200,5 mm. Estes dois tratamentos não diferiram estatisticamente de nenhum dos demais.

As menores lâminas foram drenadas pelo geotêxtil Ober 851, com 188,3 mm e pelo tratamento ausência de envoltório, com 164,7 mm.

O melhor desempenho observado para os três tratamentos de maior espessura em relação ao tratamento ausência de envoltório pode ser atribuído a dois fatores: o aumento da condutividade hidráulica propiciado pela colocação de material de grande permeabilidade ao redor do dreno e a ampliação do raio efetivo do dreno.

O tratamento sem envoltório apresentou o menor valor de lâmina média drenada por metro de tubo em duas horas, embora não tenha diferido estatisticamente dos dois geotêxteis e do envelope de brita nº 1 com 2,5 cm de espessura. No caso dos geotêxteis, o aumento da condutividade hidráulica pode ser atribuído à auto formação de uma camada permeável junto ao dreno, ocasionada pela ação seletiva da manta ao reter partículas grossas e permitir a passagem das de diâmetro menor, conforme explica SILVA (1983).

A Tabela 6 apresenta na sua terceira coluna, o acréscimo percentual na lâmina drenada pelos diferentes tratamentos em relação ao tratamento sem envoltório. Pode-se observar que o acréscimo proporcionado pelo emprego do envelo-

pe de brita nº 1 com 10 cm de espessura, que foi de 35,9%, é praticamente igual ao acréscimo correspondente ao uso do geotêxtil Bidim OP-30, que foi de 34,2%. A ocorrência de desempenhos equivalentes entre os tratamentos leva a considerações sobre a praticidade e custo dos envoltórios.

Os envoltórios de material granular apresentam uma desvantagem em relação aos geotêxteis, pelo seu maior peso. Para confeccionar um envoltório ou um filtro de pedregulho e areia com 10 cm de espessura, são necessários, aproximadamente, 5 m³ de material granular para cada 100 m de tubo, com peso de algumas toneladas. Uma faixa de geotêxtil Bidim OP-30 com 0,2 m de largura e 100 m de comprimento pesa aproximadamente 6 quilogramas.

Além de ter maior peso, que encarece o transporte, o material granular é de colocação lenta e exige mais mão-de-obra que o geotêxtil, uma vez que não está difundido no Brasil o uso de máquinas para descarga automática de brita ou pedregulho, como há em outros países (PIZARRO, 1975; HOLLANDA, 1984).

O filtro de pedregulho e areia propiciou a drenagem da maior lâmina média por metro de tubo no período de duas horas. Seu uso, no entanto, somente será vantajoso se for possível obter material natural com as características desejadas, uma vez que as operações de peneiramento ou mistura de materiais diferentes para se chegar ao filtro aumentam muito o seu custo.

4.2. Curvas de descarga e tempo necessário para drenagem da lâmina mínima satisfatória

As figuras de nº 8 a 14 apresentam as curvas médias de descarga dos sete tratamentos testados. Nessas curvas pode-se observar o crescimento da lâmina média drenada por metro de tubo no período de duas horas.

O coeficiente angular de uma reta tangente a qualquer ponto das curvas de descarga fornece o valor médio da taxa de drenagem no instante considerado. A variação da inclinação, que se verificou com o aumento do tempo em todas as curvas, deveu-se à redução da carga hidráulica durante a drenagem dos tanques. Diferenças na inclinação das curvas, principalmente aquelas verificadas nos momentos iniciais da drenagem, quando ainda não havia diferenças consideráveis na carga hidráulica dos sete tanques, indicam condutividade hidráulica distinta para os tratamentos testados. As maiores condutividades hidráulicas levaram a um menor tempo para drenagem da lâmina mínima satisfatória.

Somente quatro tratamentos alcançaram a drenagem da lâmina mínima satisfatória em tempo médio inferior a duas horas: o filtro de pedregulho e areia, os envelopes de brita nº 1 com 10 cm e 5 cm de espessura e o geotêxtil Bidim OP-30. O filtro de pedregulho e areia foi o mais rápido, demorando 40 minutos para drenar os 205,5 mm. A seguir vieram o envelope de brita nº 1 de 5 cm de espessura com 57 minutos,

o envelope de brita nº 1 de 10 cm de espessura com 83 minutos e o geotêxtil Bidim OP-30 com 102 minutos.

Os demais tratamentos alcançaram a drenagem da lâmina mínima satisfatória em tempo superior a duas horas.

Cabe ressaltar, que a velocidade de drenagem dentro do intervalo de tempo de duas horas tem interesse específico para o experimento, pois em condições de campo, o tempo mínimo considerado para o rebaixamento do lençol freático a níveis aceitáveis é de 24 horas.

4.3. Efeito dos tratamentos no carreamento de solo

A Tabela 7 apresenta as taxas médias de carreamento de solo por metro de dreno, para todos os tratamentos, expressas em miligramas de areia por minuto.

Os resultados mostraram que para seis tratamentos, a primeira taxa média de carreamento foi muito maior que as taxas subsequentes. Esta taxa inicial representa o carreamento médio ocorrido nos momentos iniciais de drenagem, pois sua determinação teve início 5 segundos após a abertura dos drenos. Apenas o tratamento geotêxtil Bidim OP-30 apresentou a taxa média inicial com valor um pouco menor que o da segunda taxa.

Figura 8. Curva de descarga do tanque com dreno envolto por filtro de pedregulho e areia.

Figura 9. Curva de descarga do tanque com dreno envolto por envelope de brita nº 1 com 10 cm de espessura.

Figura 10. Curva de descarga do tanque com dreno envolto por envelope de brita nº 1 com 5 cm de espessura.

Figura 11. Curva de descarga do tanque com dreno envolto por envelope de brita nº 1 com 2,5 cm de espessura.

Figura 12. Curva de descarga do tanque com dreno envolto por geotêxtil Ober 851.

Figura 13. Curva de descarga do tanque com dreno envolto por geotêxtil Bidim OP-30.

Figura 14. Curva de descarga do tanque com dreno sem envoltório.

Tabela 7. Taxas médias de carreamento de solo durante a drenagem dos tanques, para todos os tratamentos, expressas em miligramas de areia por minuto por metro de dreno.

Taxa	Início da Anostragem	Filtro de Pedregulho e Areia	Tratamentos					Geotêxtil Bidim OP-30	Geotêxtil Ober 851	Sem Envolvimento
			Brita nº 1 - 10 cm -	Brita nº 1 - 5 cm -	Brita nº 1 - 2,5 cm -					
1ª	5 segundos	757,5 ^{b/}	139,0	889,8	641,9	10,9	9,8	33,7		
2ª	4 minutos	9,2	1,0	43,8	81,9	2,1	13,9	4,0		
3ª	12 minutos	4,7	0,6	23,1	61,0	0,3	1,0	0,5		
4ª	24 minutos	0,9	1,1	9,4	6,1	0,6	0,3	1,0		
5ª	36 minutos	0,4	0,4	0,7	4,3	0,7	0,5	0,3		
6ª	48 minutos	0,4	0,2	1,3	3,9	0,2	0,3	0,1		
7ª	72 minutos	0,2	0,2	0,1	0,7	0,1	0,3	0,1		
8ª	96 minutos	0,3	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3		
9ª	120 minutos	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	zero		

a/ Tempo transcorrido após o início da drenagem

b/ Médias dos dados coletados em 16 rebaixamentos do lençol freático nos tanques

Após uma queda acentuada da primeira para a segunda taxa, houve um decréscimo gradual dos valores para to dos os tratamentos, que prosseguiu até os 36-48 minutos. A partir daí as taxas permaneceram estáveis até os 120 minutos, apresentando valores de carreamento sempre menores que 1 miligrama de areia por minuto, por metro de dreno.

O acentuado carreamento registrado nos minutos iniciais, pode ser atribuído a uma situação momentânea de instabilidade e desarrançamento das partículas de solo, devido ao início da drenagem. O reordenamento destas partículas, à medida que prosseguiu a percolação, proporcionou uma nova acomodação que ocasionou a redução do carreamento. Essa afirmação tem por base a seguinte consideração: A carga hidráulica existente sobre o dreno diminuiu muito pouco nos 4 ou 5 minutos em que se produziu a redução brusca no carreamento. Isto demonstra que o gradiente de saída, que gera a força de percolação, não sofreu decréscimo tão acentuado a ponto de provocar grandes alterações na taxa de carreamento.

A redução gradual no valor das taxas médias de carreamento ocorrida a partir da segunda amostragem, pode ser atribuída à diminuição da carga hidráulica nos tanques, que se deu em função da drenagem.

O uso da primeira taxa média de carreamento como parâmetro de comparação entre os tratamentos não foi considerado apropriado, visto que esses valores refletiram uma condição momentânea ocasionada pela abertura dos drenos. As

taxas médias registradas a partir de 4 minutos após o início da drenagem, mostraram de forma mais correta o efeito dos tratamentos no carreamento de solo.

A observação dos resultados apresentados na Tabela 7 mostra que a partir dos 4 minutos de drenagem, registrou-se taxas de carreamento pequenas para todos os tratamentos. Mesmo com carga hidráulica próxima do valor máximo, a maior taxa média registrada aos 4 minutos foi de 81,9 miligramas de areia por minuto, por metro de dreno, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 2,5 cm de espessura. Considerando que tivéssemos 100 metros de dreno e que a carga hidráulica permanecesse elevada por 3 horas devido a uma precipitação muito intensa, o carreamento total de solo para o dreno por esse tratamento, seria de aproximadamente 1.400 gramas de areia, que representa um volume em torno de 1 litro.

Em face dos resultados obtidos, as taxas médias de carreamento não foram utilizadas para comparar o desempenho dos envoltórios, pois considerou-se que o solo empregado influenciou mais no resultado do que o efeito dos tratamentos. Em outras palavras, pode-se dizer que apesar da expectativa de que viesse a ocorrer um significativo carreamento de partículas em função das características do solo empregado, isto, como mostra o comportamento do tratamento ausência de envoltório, não ocorreu. Face ao exposto, não foi possível identificar com precisão o efeito dos tratamentos no con

trole do carreamento de solo para os drenos.

Segundo GULATI et alii (1970), solos não coesivos de textura grossa podem ser resistentes ao carreamento de solo se apresentarem boa graduação de partículas.

5. CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado este trabalho e considerando o solo empregado, tirou-se as seguintes conclusões:

- 1 - As lâminas drenadas no período de duas horas pelos drenos com envoltório de espessura maior ou igual a 5 cm, foram estatisticamente diferentes e superiores à lâmina drenada no mesmo período pelo dreno sem envoltório.
- 2 - O envelope de brita com 2,5 cm de espessura e os geotêxteis Bidim OP-30 e Ober 851, proporcionaram um acréscimo na lâmina drenada em duas horas em relação ao tratamento sem envoltório de 21,7%, 34,2% e 14,3%, respectivamente, embora não se tenha encontrado diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade.
- 3 - Os tratamentos filtro de pedregulho e areia, envelope de brita com 5 cm e 10 cm de espessura e o geotêxtil Bidim OP-30 foram, nesta ordem, os de maior velocidade de dre-

nagem, demorando 40 minutos, 57 minutos, 83 minutos e 102 minutos, respectivamente para drenar uma lâmina de 205,5 mm.

- 4 - O efeito dos tratamentos no controle do carreamento de solo para os drenos não pode ser estimado com precisão, em função das pequenas taxas de carreamento de solo encontradas.
- 5 - Considerando-se o efeito dos envoltórios testados no aumento da capacidade de drenagem, o filtro de pedregulho e areia foi o envoltório que apresentou melhor desempenho.
- 6 - Considerando-se juntamente com o efeito no aumento da capacidade de drenagem, a praticidade de instalação e a economia de mão-de-obra e de transporte, o geotêxtil Bidim OP-30 foi o envoltório que apresentou melhor desempenho.

6. LITERATURA CITADA

AL-SOUFI, R.W., 1981. Alternative for Envelope Material.

Chicago, Am.Soc.Agric.Engrs., 9p. (Paper nº 81-2541).

BATISTA, M.J., 1978. Effect of Soil Compaction on Hidraulic

Failure of Soils. Logan, UTAH STATE UNIVERSITY, 108p.

(Dissertação de Mestrado).

BATISTA, M.J., 1983. Envelopes para Drenos Subterrâneos.

Irrigação e Tecnologia Moderna. Brasília, 12: 26-29.

BATISTA, M.J.; C.L. SILVA e J.D. RODRIGUES, 1984. Análise

Técnico-Econômica do Comportamento de Drenos Entubados em
pregando Envelope somente de Cascalho e de Cascalho com Man-

ta Sintética. Irrigação e Tecnologia Moderna. Brasília,

19: 14-22.

BROUGHTON, R.S.; S. GAMEDA e W. GIBSON, 1982. Field Tests of

some Drain Tube Envelope Materials. In: KRIZ, G.J., Ed.

Advances in Drainage. St. Joseph, Am.Soc.agric.Engrs.,

p. 69-78.

CAVELAARS, J.C., 1974. Subsurface Field Drainage Systems

In: The Netherlands. International Institute for Land Reclamation and Improvement., Ed. Drainage Principles and Applications. Wageningen, ILRI, Vol. IV, p. 1-65. (Publicação 16).

CRUCIANI, D.E., 1980. A Drenagem na Agricultura. São Paulo, Livraria Nobel. 333p.

DAVIS, S.; WILLARDSON; J.R. SPENCER e D. MULDER, 1971.. Drain Envelope Performance in a Sandy Soil. In: National Drainage Symposium. St. Joseph, Am.Soc,agric.Engrs., p. 8-10, 19.

DONNAN, W.W. e G.O. SCHWAB, 1974. Current Drainage Methods in the USA. In: SCHILFGAARDE, J.V., Ed. Drainage for Agriculture. Madison. American Society of Agronomy, p. 93-114. (Série Agronomy, 17).

EEUU. U.S.Dep.Agr.. Soil Conservation Service, 1971. Drainage of Agricultural Lands. Port Washington. 460p.

EEUU. U.S.Dep.Agr.. Soil Conservation Service, 1972. Maintaining Subsurface Drains. Washington, D.C., 8p. (Leaflet nº 557).

GRASS, L.B., 1969. Tile Clogging by Iron and Manganese in Imperial Valley, California. J. Soil and Water Cons., Baltimore 24 (4): 135-138.

- GRASS, L.B. e A.J. MACKENZIE, 1972. Restoring Subsurface Drain Performance. Journal of the Irrigation and Drainage Division. New York, 98 (IR 1): 97-106.
- GULATI, O.P.; G.O. SCHWAB e R.C. REEVE, 1970. Control of Sediment Flow into Subsurface Drains. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 96 (IR 4): 437-449.
- HOLANDA. Ministerie van Landbouw en Visserij, 1984. Evolução das Técnicas de Drenagem Subterrânea. Gazetilha Agrícola dos Países Baixos. Den Haag, 4: 1-5.
- LUTHIN, J.N.; G.S. TAYLOR e C. PRIETO, 1968. Exit Gradients into Subsurface Drains. Hilgardia, Berkeley. 39 (15): 419-428.
- MACKENZIE, A.J. 1962. Chemical Treatment of Mineral Deposits in Drain Tile. J. Soil and Water Cons. Beltimore. 17 (3): 124-125.
- MILLAR, A.A., 1978. Drenagem de Terras Agrícolas: Bases Agronômicas. São Paulo, McGraw-Hill. 276p.
- PIZARRO, F., 1975. Materiales de drenaje subterraneo: teoria, practica y criterios de eleccion. In: III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza. MINTER/DNOCS-ABID, p. 108-124.
- RAADSMA, S., 1974. Current Draining Practice in Flat Areas of Humid Regions in Europe. In: SCHILFGAARDE, J.V., Ed. Drainage for Agriculture. Madison, American Society of Agronomy, P. 115-140 (Série Agronomy, 17).

SAMANI, Z.A. e WILLARDSON, 1981. Soil Hidraulic Stability in a Subsurface Drainage System. Trans. Am. Soc.agric.Engrs. St. Joseph, 24 (3): 666-669.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1975. Bidim Ensaio de Permeabilidade e Colmatação. São Paulo. 34p. (Relatórios de nº 8108 e 8499).

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. Ensaio de Permeabilidade, Colmatação e Inspeção por Microscópio Eletrônico de Varredura, sobre Mantas Geotêxteis e Ensaio Comparativos com Areia. São Paulo. 55p. (Relatório nº 14339).

SERAPHIM, L.A., 1982. Aplicação do Geotêxtil na Drenagem Vertical de Campos Gramados. São Carlos, EESC/USP, 212p. (Tese de Doutorado).

SILVA, L.M., 1983. Envelopamento de Tubos-Dreno com Mantas Não tecidas. Florianópolis, Imprensa Universitária-UFSC. 118p.

SOMMERFELDT, T.G., 1975. Outflow from Various Subsurface Drainage Materials. Trans.Am.Soc.agric.Engrs.. St. Joseph, 18 (): 85-88, 95.

SUTTON, J.G., 1952. Maintaining Drainage Systems. Washington, D.C., U.S. Dept. of Agric. 30p. (Farmer's Bulletin nº 2047).

- VARGAS, M., 1978. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo, McGraw-Hill. 509p.
- WESSELING, J. e F. HOMMA, 1967. Entrance Resistance of Plastic Drain Tubes. Neth.J.Agr.Sci. Wageningen, 15: 170-182.
- WILLARDSON, L.S.; J.L. FOUSS; R.C. REEVE e N.C. FAUSEY, 1968. Entry Velocity Control Limits Drain Sedimentation. J.Irrig.Drain.Div. New York, 94 (IR 4): 455-463.
- WILLARDSON, L.S., 1974. Envelope Materials. In: SCHILFGARDE, J.V., Ed. Drainage for Agriculture. Madison, American Society of Agronomy, P. 179-196. (Série Agronomy, 17).
- WILLARDSON, L.S.; S DAVIS; D. MULDER e J.R. SPENCER, 1975. Drain Envelope Response to Field Treatments. Trans.Am.Soc.agric.Engrs. St. Joseph, 18 (): 134-136.
- WILLARDSON, L.S. e M.J. BATISTA, 1980. Compaction Effects on Hydraulic Failure Gradients. In: EGGLESTON, J., Ed. Irrigation and Drainage Today's Challenges. Boise, J. Irrig.Div.Am.Soc.civ.Engrs., p. 141-149.

A P E N D I C E I

Tabela 1. Classificação unificada dos solos

PROCESSO									
PROCESSO PARA A IDENTIFICAÇÃO NO CAMPO					Índice do grupo				
Isolando as partículas maiores que 3" baseando-se na estimativa de peso das frações					DESIGNAÇÃO CARACTERÍSTICA				
SOLOS DE GRANULÇÃO GROSSA									
Mais que a metade do material é maior que a abertura de malha # 200. (A abertura da malha de # 200 corresponde aproximadamente a menor partícula visível a olho nu)	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	PEDREGULHOS	G. W.	Pedregulhos bem graduados, misturas de areia e pedregulhos com pouco ou nenhum fino		
					PEDREGULHOS COM FINEZ	G. P.	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulhos e areia com pouco ou nenhum fino		
					PEDREGULHOS COM FINEZ DE FINEZ	G. M.	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulhos, areia e silte mal graduados		
					PEDREGULHOS COM FINEZ DE FINEZ DE FINEZ	G. C.	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulhos, areia e argila mal graduados		
Mais que a metade do material é maior que a abertura de malha # 200. (A abertura da malha de # 200 corresponde aproximadamente a menor partícula visível a olho nu)	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	AREIAS	S. W.	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino		
					AREIAS	S. P.	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino		
					AREIAS	S. M.	Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte		
					AREIAS	S. C.	Areias argilosas, misturas mal graduadas de areia e argila		
SOLOS DE GRANULÇÃO FINA					PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO E EXCUTADO SOBRE A FRAÇÃO < nº 40				
Mais que a metade do material é maior que a abertura de malha # 200. (A abertura da malha de # 200 corresponde aproximadamente a menor partícula visível a olho nu)	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	SILTES E ARGILAS	RESISTÊNCIA A SECO (empilhamento pelo dedo)			
						DILATÂNCIA (escudando na palma da mão)			
						RIGIDEZ (consistência nas proximidades do L.P.)			
Mais que a metade do material é maior que a abertura de malha # 200. (A abertura da malha de # 200 corresponde aproximadamente a menor partícula visível a olho nu)	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	SILTES E ARGILAS	M. L.			
						C. L.			
						O. L.			
						M. H.			
Mais que a metade do material é maior que a abertura de malha # 200. (A abertura da malha de # 200 corresponde aproximadamente a menor partícula visível a olho nu)	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	Mais da metade da fração grossa, areia e maior que a # nº 4	SILTES E ARGILAS	C. H.			
						O. H.			
						P. I.			

A P E N D I C E I I

Tabela 1. Volumes, em litros, coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento filtro de pedregulho e areia.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
4 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
12 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
24 minutos	10.6	7.83	10.6	10.6	8.42	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
36 minutos	4.96	4.0	4.0	4.0	4.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
48 minutos	4.0	2.5	2.5	2.5	2.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
72 minutos	2.5	2.5	2.5	-	1.04	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
96 minutos	-	0.64	0.73	0.73	0.7	1.6	1.16	1.42	1.64	1.27	1.65	1.76	1.87	1.29	1.23	0.86
120 minutos	0.56	0.47	0.55	0.56	-	1.02	0.75	0.88	0.97	0.96	1.12	0.93	0.95	0.64	0.64	0.54

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 2. Volumes, em litros, coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 10 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	8.45	7.52	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
4 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
12 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
24 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
36 minutos	8.07	7.1	7.1	7.1	7.1	10.6	10.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
48 minutos	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
72 minutos	2.5	2.5	2.5	2.5	1.14	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
96 minutos	-	0.74	0.75	0.74	0.85	2.23	1.16	2.5	2.5	1.12	1.8	1.82	1.61	2.0	2.12	1.17
120 minutos	0.78	0.57	0.59	0.57	0.64	1.48	1.08	1.59	2.31	0.88	1.21	1.0	0.85	1.07	1.01	0.71

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 3. Volumes, em litros, coltados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 5 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
4 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
12 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
24 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
36 minutos	7.97	7.0	7.1	6.33	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
48 minutos	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
72 minutos	2.5	2.5	2.5	2.5	1.22	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
96 minutos	-	0.68	0.71	0.8	0.83	0.98	1.16	1.0	0.85	0.84	2.08	1.37	1.34	1.34	1.64	1.37
120 minutos	0.64	0.42	0.51	0.54	0.56	0.93	0.8	0.66	0.57	0.55	1.4	0.98	0.92	0.95	1.09	1.02

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 4. Volumes, em litros, coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº1 com 2,5 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	8.11	8.1	8.72	8.74	10.6
4 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	8.19	10.6	10.6	10.6
12 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
24 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	-	10.6	10.6
36 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	5.74	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
48 minutos	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
72 minutos	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
96 minutos	-	1.48	2.35	2.5	2.5	0.89	0.71	0.84	0.95	1.33	0.8	2.5	2.5	2.5	2.0	1.22
120 minutos	1.05	0.85	1.08	1.06	1.28	0.61	0.48	0.55	0.68	0.9	0.6	1.76	1.94	1.52	1.16	0.83

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 5. Volumes, em litros, coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento geotêxtil Ober 851.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	3.88	2.77	2.97	2.7	2.52
4 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	5.7	4.34	3.31	2.75	2.62
12 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	6.95	6.73	4.46	3.64	3.43
24 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	6.32	5.15	4.11	3.48	3.26
36 minutos	10.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	6.07	5.56	3.92	3.21	3.01
48 minutos	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
72 minutos	2.5	2.5	2.5	1.22	1.38	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
96 minutos	-	0.66	0.77	0.69	0.72	1.08	1.05	1.09	1.15	1.38	1.21	1.93	1.62	1.21	0.98	0.96
120 minutos	0.57	0.48	0.53	0.48	0.48	0.79	0.69	0.72	0.82	0.95	0.9	1.71	1.5	1.14	0.95	0.91

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 6. Volumes, em litros, coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento geotêxtil Bidim OP-30.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	8.13	6.75	6.45	5.97	4.99	6.0	5.0	6.28	5.41
4 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	8.1	-	6.97	10.4	8.0	8.5
12 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
24 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5	6.68	10.6	10.6
36 minutos	10.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	6.98	7.1	7.1
48 minutos	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
72 minutos	2.5	2.5	2.5	2.5	2.14	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
96 minutos	-	0.96	1.19	1.04	1.34	2.39	2.39	2.39	2.31	2.36	2.5	2.5	2.5	1.86	2.5	2.5
120 minutos	0.92	0.61	0.76	-	0.72	1.72	1.79	1.74	1.81	2.0	2.38	2.11	1.52	2.5	2.5	2.09

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 7. Volumes, em litros, coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento ausência de envoltório.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO					TERCEIRA REPETIÇÃO					
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	8.04	7.22	7.51	6.5	5.2	4.65	1.6	2.58	3.4	3.46
4 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	7.42	5.1	2.77	5.09	5.64	6.27
12 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	7.05	4.0	10.6	7.02	9.0
24 minutos	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	5.73	2.87	7.07	6.58	8.48
36 minutos	10.6	7.1	7.1	7.1	7.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.08	3.09	6.82	6.01	7.1
48 minutos	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.5	2.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.00	6.63	4.0	4.0
72 minutos	2.5	2.5	2.5	1.03	1.58	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
96 minutos	-	0.43	0.61	0.55	0.66	2.0	1.92	2.15	2.2	2.29	2.4	1.14	0.91	1.97	1.65	2.45
120 minutos	0.35	0.31	0.41	0.39	0.44	1.45	1.35	1.46	1.73	1.82	1.85	1.05	0.88	1.84	1.61	2.26

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 8. Massa de areia, em miligramas, encontrada nos volumes coltados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento filtro de pedregulho e areia.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	78.2	42.8	21.9	25.4	27.2	7889.5	4268.5	1008.5	488.4	961.9	910.2	2414.6	1161.7	1786.7	1095.2	718.0
4 minutos	11.9	4.0	4.4	2.0	3.9	182.2	138.0	2.6	1.5	15.1	3.8	19.2	19.7	34.4	6.6	6.1
12 minutos	94.6	2.1	2.1	8.0	1.7	72.9	22.5	3.0	0.8	16.6	5.8	5.7	2.9	8.9	0.9	4.1
24 minutos	0.4	6.3	4.3	1.4	2.4	46.7	14.8	1.7	1.1	1.0	0.9	3.3	1.8	4.2	0.9	12.1
36 minutos	0.8	1.7	4.2	4.5	1.6	7.0	2.2	2.2	0	0.9	2.4	7.3	1.9	1.5	0	0
48 minutos	0	1.5	1.6	2.9	1.6	4.0	2.8	1.8	0	0.4	0.6	2.1	0.6	10.5	0	3.6
72 minutos	2.6	2.1	2.4	-	1.4	0	0.6	1.6	0.4	0.3	0.2	2.9	1.9	1.6	0	0
96 minutos	-	1.5	2.6	1.3	2.8	0.6	0	1.6	1.3	2.1	2.6	0.7	4.3	2.0	0	0
120 minutos	0	0	4.2	0	-	0	0.6	0.8	2.9	0	0.9	1.0	4.9	1.5	0	0

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 9. Massa de areia, em miligramas, encontrada nos volumes coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 10 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	10.4	5.2	5.3	9.2	4.6	195.8	253.6	1.0	33.2	1372.8	64.8	19.2	1013.5	8.1	15.3	2.5
4 minutos	8.5	3.1	2.8	2.0	4.2	1.2	0.2	7.4	3.7	7.6	1.6	0	7.3	0.3	0.7	18.1
12 minutos	0.1	3.1	3.4	4.3	1.6	0.5	3.0	2.4	0.2	2.2	0	4.4	2.3	4.0	2.8	4.2
24 minutos	0.4	2.3	4.4	6.5	8.3	1.3	3.2	2.4	0.2	44.6	0	0.2	0.5	1.0	3.9	1
36 minutos	0.4	2.9	6.4	7.8	3.8	0.5	3.2	1.5	0.1	3.2	0	3.8	3.9	0.2	0	0
48 minutos	1.3	2.4	1.9	4.3	1.1	0.3	0	1.5	0.1	1.4	0	0.8	0	1.0	0	0
72 minutos	0	1.6	1.9	1.4	2.2	0.2	0.7	0.3	0	1.8	0	6.7	0	0	0	0
96 minutos	-	1.7	1.8	1.0	1.7	0	0	0.2	0.2	2.2	0	0.1	0	0	0	0
120 minutos	3.4	0	0.3	0	1.2	0	0.4	0	0	0.3	0	0	0	2.7	0	0

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 10. Massa de areia, em miligramas, encontrada nos volumes coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 5 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	2909.4	2897.0	2527.4	3662.3	2601.8	1703.5	563.0	341.8	118.5	253.3	641.5	439.0	3267.3	2556.5	1558.5	1243.1
4 minutos	12.4	45.0	57.9	94.0	85.8	3.0	11.0	6.0	4.1	2.1	0.2	4.7	24.4	1274.8	213.8	256.8
12 minutos	74.1	27.7	15.6	60.3	28.4	0	3.3	4.6	0.3	0.8	1.0	5.2	4.9	794.4	101.0	98.6
24 minutos	70.0	2.9	4.4	12.3	5.1	0.9	2.0	2.3	0.3	1.7	2.9	9.4	3.8	334.8	89.9	74.8
36 minutos	0.9	2.2	3.9	0.8	1.8	0	1.2	2.0	2.7	2.9	0.3	1.6	1.3	23.0	36.6	0.6
48 minutos	15.1	1.9	12.7	5.0	6.5	0.4	0.8	9.7	0.9	0.5	0.2	0.5	2.2	51.3	0	35.8
72 minutos	0	0.7	1.5	2.6	0.9	0.8	0.8	1.9	0.4	0.7	2.7	0.3	0.9	0	0	1.9
96 minutos	-	0.5	1.7	0	1.2	1.2	0.6	1.3	0.5	1.0	2.2	1.4	1.0	0	0	1.3
120 minutos	0.9	0	0	0	1.8	0.5	0.5	1.3	3.0	0.2	0.4	0.3	1.2	0.4	0	12.9

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 11. Massa de areia, em miligramas, encontrada nos volumes coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 2,5 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	222.9	59.7	45.4	97.2	18.8	2231.1	1027.8	926.5	178.6	300.0	253.0	10203.1	4439.2	5923.1	3118.6	2168.6
4 minutos	7.9	4.4	5.3	7.9	13.0	48.1	106.1	63.2	4.2	8.3	14.2	1310.7	85.4	2230.1	866.6	801.3
12 minutos	1.0	9.8	1.9	4.9	20.0	30.8	25.1	4.3	6.6	37.2	1.8	396.8	20.6	3027.0	289.6	784.3
24 minutos	0.1	1.0	2.4	3.5	22.9	2.2	2.7	1.6	1.9	3.2	6.3	167.7	6.7	-	129.2	178.7
36 minutos	2.3	12.9	5.3	3.0	6.8	3.2	0	8.9	0.1	1.3	1.7	62.6	15.0	174.3	62.2	95.1
48 minutos	0	2.6	1.8	3.1	0.8	0	0	0.5	0.1	2.2	0.5	97.6	7.6	129.4	40.7	23.9
72 minutos	0	0.5	1.7	1.6	3.3	0	0	1.1	0	1.7	0.4	3.7	14.5	17.6	15.5	0.8
96 minutos	-	1.9	1.6	0.7	3.1	1.5	0	0.5	0.6	1.3	2.0	2.1	7.3	5.8	2.6	0
120 minutos	0	0	0	0	1.0	0.1	0.2	0.8	0	0.3	1.0	0.9	3.1	1.2	0	0

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 12. Massa de areia, em miligramas, encontrada nos volumes coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento geotêxtil Ober 851.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	92.0	76.7	83.6	61.7	41.2	18.6	6.9	6.1	3.8	5.5	2.5	2.5	25.7	2.7	0	5.3
4 minutos	61.7	6.1	11.6	11.9	2.4	4.8	0.2	1.4	0.4	0.4	0	0	21.5	7.7	0	0.5
12 minutos	3.5	3.1	2.9	1.4	7.3	1.4	0.2	1.1	0	0.5	0.2	0	0.5	5.4	0	2.1
24 minutos	7.0	3.4	4.0	1.4	1.6	0.5	0.6	4.3	1.2	0.5	1.1	2.2	12.6	1.4	0	14.4
36 minutos	45.4	1.4	1.8	4.2	1.7	1.0	0	1.6	1.2	2.6	1.2	0	0	4	0	9.2
48 minutos	9.1	1.2	2.1	1.6	1.5	0.3	0.2	1.9	0.2	0.2	1.0	0	0	0	0	0
72 minutos	0	1.9	1.6	1.2	2.2	0	0.2	1.0	0.6	3.1	0.6	0	0	0	0	0
96 minutos	-	2.7	1.5	1.7	1.1	0	0	0.7	0	1.2	2.0	0	0	0	0	0
120 minutos	0	0	0.8	0	0	0	0.6	0.3	2.8	0.1	0	0	0	0	0	0

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 13. Massa de areia, em miligramas, encontrada nos volume coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento geotêxtil Bidim OP-30.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO						SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		
5 segundos	161.0	18.4	23.2	26.5	61.5	3.2	33.0	5.0	1.2	78.8	5.9	21.1	2	4.7	2.7	10		
4 minutos	2.9	2.8	3.5	2.3	1.8	0	2.1	2.3	0	2.7	7.6	-	0	2.6	0.4	1004.8		
12 minutos	61.2	2.1	9.9	1.6	2.7	0	2.3	4.4	1.2	3.4	0.8	0	6	1.5	1.1	5.6		
24 minutos	0.3	12.7	3.1	1.5	2.6	0.7	1.7	1.8	0.1	1.4	0.5	0	4.6	2.6	0	0.4		
36 minutos	12.6	2.5	11.4	1.0	3.1	0	1.0	2.3	0	20.6	0.3	1.1	0	0.9	1.5	5.9		
48 minutos	9.9	3.0	1.7	0.7	3.1	0	0.3	0.9	0.1	5.6	1.4	0	0	0.2	0	1.2		
72 minutos	0	8.9	1.4	0.3	1.1	0.1	1.3	0.5	0.4	0.6	0.3	2.3	0	8.6	0	0		
96 minutos	-	2.1	1.3	0.2	2.5	0	0.2	0.9	0.1	1.9	0.4	0	0	1.2	0	0.9		
120 minutos	0	0	0	-	0.5	0	0.8	0.5	0.4	1.4	0.5	2.8	0	0.4	0	0.5		

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 14. Massa de areia, em miligramas, encontrada nos volumes coletados nas medições de vazão realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento ausência de envoltório.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	255.7	112.6	472.5	369.3	76.6	27.0	19.1	14.1	215.5	27.4	13.2	90.9	0.2	4.2	4.4	2.5
4 minutos	49.6	11.3	210.5	22.0	2.5	1.6	10.5	5.2	1.8	7.9	0.1	1.5	0	2.2	1.5	18.1
12 minutos	15.5	5.8	13.2	5.0	1.4	0.7	1.3	2.9	0.7	0.6	0	0.2	0	1.4	0	4.2
24 minutos	87.4	4.5	5.4	1.7	1.4	3.2	0.4	4.3	0.1	0.5	0.1	0.2	0	2.2	0	1
36 minutos	18.2	3.4	2.5	1.0	1.5	1.0	0.2	1.2	0.3	0.5	4.0	0	0	0	0	0
48 minutos	0	1.8	4.5	2.5	2.4	0	0	0.3	0	1.6	0	0	0	0	0	0
72 minutos	7.0	1.3	2.1	0	0.7	0.3	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
96 minutos	-	1.6	1.4	0.3	0.6	0.7	0	0.3	0.6	0.6	0.1	0	16.3	0	0	0
120 minutos	0	0	0.3	0	0.6	1.1	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 15. Tempo de duração, em minutos, das coletas de volume realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento filtro de pedregulho e areia.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO						SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2
5 segundos	0.48	0.38	0.5	0.43	0.48	2	1.82	2.3	2.85	1.3	2.37	2.97	3.75	2.67	3.15	2.78		
4 minutos	0.6	0.53	0.633	0.53	0.65	3.3	2.58	3.08	3.97	1.83	3.83	5.67	7.75	4.7	5.35	4.33		
12 minutos	0.783	0.95	0.75	0.767	0.75	3.52	2.78	3.33	4.2	2.08	4.18	6.417	8.283	5	5.7	4.48		
24 minutos	12	11.92	11.5	11.92	9.533	4.23	4.78	3.83	4.8	4.27	4.88	6.983	9.05	5.23	6.05	4.82		
36 minutos	12	10.48	9.617	9.9	9	5	6	4.62	4.05	7.333	4.1	3.28	4.3	2.67	2.82	2.25		
48 minutos	14.17	9	8.583	8.483	8.033	3.87	5.23	3.73	3.43	6.5	3.13	3.75	4.57	3.07	2.93	3.8		
72 minutos	13.3	15.25	13.28	-	5	3.65	7.467	4.9	4.42	7.167	4.3	3.85	3.25	4.27	4.02	7.733		
96 minutos	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
120 minutos	5	5	5	5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 16. Tempo de duração, em minutos, de coletas de volume realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 10 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO						SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		
5 segundos	0.983	0.933	1.05	1.05	1.13	2.62	3.05	3.92	3.92	1.05	1.97	2.65	2.18	2.1	1.65	3.92		
4 minutos	1.17	1.05	1.18	1.17	1.27	4.67	4.33	5.47	6.2	1.73	5.42	6.15	5.55	5.68	4.12	8		
12 minutos	1.27	1.15	1.28	1.28	1.42	4.83	4.63	5.78	6.5	2.22	6.05	7.917	6.117	6.283	4.83	12		
24 minutos	2	2.28	1.72	1.7	1.8	5.48	5.08	6.317	7.117	4.43	6.733	9.567	6.8	6.833	5.25	12		
36 minutos	11.92	11.83	7.767	7.167	5.47	5.83	5.42	5.22	6	7.45	6	8.867	5.77	5.82	4.67	11.12		
48 minutos	11.17	12.58	11.2	10.88	9.2	3.07	3.12	3.17	3.62	6.5	3.93	5.38	3.72	3.57	3.7	5.95		
72 minutos	11.75	13.42	13.13	13.53	5	2.85	3.68	3	2.55	7.433	3.97	4.33	4	3.27	5.75	4.7		
96 minutos	-	5	5	5	5	5	5	5	3.58	5	5	5	5	5	5	5		
120 minutos	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 17. Tempo de duração, em minutos, das coletas de volume realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 5 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	0.8	0.683	0.833	0.75	0.817	2.08	2.35	2.83	3.55	2.08	2.82	2.05	1.85	2.52	2.27	2.38
4 minutos	1.12	0.817	1	0.917	1	3.48	3.35	3.27	4.67	2.57	5.3	4.22	5.8	3.7	3.48	3.17
12 minutos	1.2	0.85	1.2	1	1.08	3.63	3.58	3.83	5.02	2.8	6.067	4.62	6.767	4	3.73	3.4
24 minutos	2.47	2.4	2.6	3.5	1.53	4.07	4.03	4.48	5.42	3.4	7.167	5.03	7.417	4.18	4.05	3.78
36 minutos	11.92	12	11.87	11.92	7.833	5.42	4.95	4.62	4.55	6.383	6.267	6.017	6.6	4.75	6.183	7.667
48 minutos	11.3	11.77	11.8	12.13	10.18	5.17	4.1	3.87	3.05	5.6	3.8	5.12	4.9	4.52	6.983	7.6
72 minutos	12.58	13.7	13.17	12.15	5	4.87	5.88	5.67	4.72	6.5	2.98	6.867	6.95	7.183	9.5	10
96 minutos	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
120 minutos	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 18. Tempo de duração, em minutos, das coletas de volume realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento envelope de brita nº 1 com 2,5 cm de espessura.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	1.62	2.17	2.32	2.5	2.67	2.53	2.35	2.97	3.8	3.17	2.65	3.92	4.17	3.92	4	3.87
4 minutos	1.83	2.28	2.52	2.72	2.87	3.53	2.67	3.65	4.3	3.8	3.05	8	8.083	7.183	6.7	4.95
12 minutos	1.98	2.4	2.63	2.78	2.97	3.88	3	4.08	4.68	4.23	3.32	9	10.92	7.767	7.333	5.4
24 minutos	2.17	2.6	2.85	2.98	3.18	7.15	6.533	5.23	5	4.88	9.183	9.683	11.58	-	7.8	5.75
36 minutos	2.45	2.82	3.07	3.23	3.37	9.833	8.933	8.667	8.717	6.933	12	8.017	9.733	6.883	6.533	4.87
48 minutos	1.9	1.48	1.47	1.53	1.62	10.32	7.85	7.317	7.833	5.78	11.18	4.68	5.7	4.08	3.88	3.35
72 minutos	6.033	2.38	1.72	1.57	1.5	9.467	11.25	9.533	8.633	6.333	11.63	3.4	3.9	2.97	2.85	6.483
96 minutos	-	5	5	4.32	5	5	5	5	5	5	5	5	4.58	4.45	5	5
120 minutos	6	5	5	5	5	5	5	5	5.3	5	5.33	5	5	5	5	5

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 19. Tempo de duração, em minutos, das coletas de volume realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento geotêxtil Ober 851.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO						SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		
5 segundos	1.52	1.22	1.35	1.3	1.38	1.78	1.9	2.2	2.68	2.35	2.7	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92		
4 minutos	1.73	1.35	1.48	1.42	1.53	2.25	2.13	2.43	3.02	2.7	3.12	8	8	8	8	8		
12 minutos	1.87	1.45	1.63	1.52	1.67	2.82	2.82	2.67	3.2	2.97	3.45	12	13.42	12	12	12		
24 minutos	2	1.67	1.78	1.67	1.83	5.57	4.72	4.6	4.72	4.72	5.43	12	10.58	12	12	12		
36 minutos	2.88	3.75	2.35	2.72	2.3	7.483	6.283	6.067	5.62	5.67	7.533	12	12	12	12	12		
48 minutos	3.58	7.233	4.82	6.167	4.75	8.4	5.68	5.23	4.67	4.87	5.93	9.25	10.07	14.15	18.15	19.3		
72 minutos	10	13.17	10.28	5	5	7.767	7.533	7.033	6.5	5.88	6.833	6.167	7.283	10.17	12.22	12.75		
96 minutos	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
120 minutos	5	5	5	5	5	5	5	5	5.3	5	5.33	5	5	5	5	5		

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 20. Tempo de duração, em minutos, das coletas de volume realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento geotêxtil Bidim OP-30.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO					SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO				
						REBAIXAMENTOS DO LENÇOL FREÁTICO										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
5 segundos	0.7	0.7	0.783	0.75	1.1	3.78	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92
4 minutos	0.8	0.783	0.883	0.85	1.22	4.55	5.07	6.2	6.833	7.333	8	-	8	8	8	8
12 minutos	0.917	0.883	1	0.983	1.35	4.83	5.4	6.667	7.4	7.833	10	11.02	13.03	8.767	11.07	9.783
24 minutos	2.38	2.32	1.77	1.8	1.6	5.4	5.92	7.2	8.033	8.683	10.88	12	10.58	10.17	12	10.7
36 minutos	11.05	7.817	5.37	5.42	2.17	4.63	5.22	6.067	6.75	7.25	9.033	10.33	12	8.667	10.4	9.117
48 minutos	7.233	7.333	6.367	6.65	2.57	3.22	3.43	3.82	4.17	4.25	5.33	6.167	8.167	5.08	6.15	5.33
72 minutos	7.667	8.667	7.117	7.7	5	2.85	3.65	3.92	3.37	3.07	3.73	4.25	6.25	3.33	4.12	3.55
96 minutos	-	5	5	5	5	5	5	5	5	4.83	4.17	5	4.58	4.68	4.25	4.25
120 minutos	6	5	5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.35	4.9	5

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 21. Tempo de duração, em minutos, das coltas de volume realizadas durante os 16 rebaixamentos do lençol freático, para o tratamento ausência de envoltório.

a/ Início da coleta	PRIMEIRA REPETIÇÃO						SEGUNDA REPETIÇÃO						TERCEIRA REPETIÇÃO					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		
5 segundos	1.4	1.33	1.77	1.8	1.9	3.37	3.75	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92		
4 minutos	1.55	1.43	1.93	1.97	2.08	4.75	5.28	6.583	6.532	7.133	8	8	8	8	8	8		
12 minutos	1.7	1.57	2.1	2.05	2.27	5.25	5.78	7.117	7.433	8.067	11.1	12	13.42	12	12	12		
24 minutos	1.87	1.75	2.32	2.07	2.47	6	6.083	7.7	8.167	8.9	12	12	10.58	12	12	12		
36 minutos	5.3	3.72	2	1.92	2.08	3.57	4.08	3.67	3.92	4.18	5.57	12	12	12	12	11.12		
48 minutos	11.48	13	2.08	2.58	1.8	3.27	3.28	4.43	4.4	4.52	5.97	15.15	17.52	8.517	9.55	5.95		
72 minutos	19.3	22.33	12.57	5	5	4.57	4.57	4.13	4.18	4.37	4.07	10.37	12.07	6	7.233	4.7		
96 minutos	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
120 minutos	5	5	5	5	5	5	5	5	5.3	5	5.33	5	5	5	5	5		

a/ - Tempo transcorrido após o início do rebaixamento

Tabela 22. Lâminas líquidas drenadas por metro de tubo no período de duas horas, em milímetro, pelos sete tratamentos.

TRATAMENTOS	1ª REPETIÇÃO	2ª REPETIÇÃO	3ª REPETIÇÃO
Filtro de pedregulho e areia	417,1	195,7	154,7
Envelope de brita com 10 cm de espessura	336,5	182,5	152,6
Envelope de brita com 5 cm de espessura	360,6	179,6	159,6
Envelope de brita com 2,5 cm de espessura	320,3	147,0	134,1
Geotêxtil Ober 851	331,7	182,9	50,4
Geotêxtil Bidim OP-30	409,7	145,3	108,1
Ausência de envoltório	299,5	130,0	64,7