



MINISTERIO DA EDUCACAO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS

ENSAIO DE DRENAGEM EM PLANOSSOLOS
DO RIO GRANDE DO SUL

TRABALHO APRESENTADO COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

M E S T R E E M C I Ê N C I A S E M

H I D R O L O G I A A P L I C A D A

AUTOR: PEDRO LUIZ DE FREITAS

ORIENTADOR: PROF. PAULO DIAS DE CASTRO RAMOS

EXAMINADORES:

PAULO DIAS DE CASTRO RAMOS _____

ANTONIO HIDALGO GRANADOS _____

GLAUCO DREYER _____

FLAVIO ANTONIO CAUDURO _____

JOHN C. TAYLOR _____

Data do exame: 20.04.1978

aprovado: _____
Presidente da banca

A meus pais,
que contribuíram com todo amor e compreensão
para o êxito de minha carreira,
este trabalho dedico.

AGRADECIMENTOS

O autor, ao encerrar o presente trabalho, é grato ao Professor Paulo Ramos pela orientação e pelo incentivo dado na execução deste.

Agradece ainda ao Prof. Flávio Cauduro e ao Prof. John Taylor pelas sugestões e ao colega Lawson Beltrame que, colocando de lado todas as divergências, contribuiu decididamente na execução deste trabalho.

Agradecimentos aos diretores, colegas e funcionários da Estação Experimental do Instituto Rio Grandense do Arroz, pelo apoio dado durante a implantação e a coleta de dados no campo experimental.

É agradecido também aos professores, pesquisadores e funcionários do Instituto de Pesquisas Hidráulicas que contribuíram de alguma forma para com este trabalho.

Agradecimentos especiais à EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, que proporcionou o suporte financeiro a este trabalho, juntamente com o CNPq e a FINEP.

E, finalmente, o autor agradece a paciente e compreensiva ajuda de sua esposa, Nanci, que participou de todos os passos desta escalada.

ENSAIO DE DRENAGEM EM PLANOSSOLOS
DO RIO GRANDE DO SUL 1/

Autor: Pedro Luiz de Freitas

Orientador: Prof. Paulo Dias de Castro Ramos

SINOPSE

Tendo como objetivo fundamental dar subsídios a implantação de sistemas de drenagem em planossolos do Rio Grande do Sul, foi instalado um campo experimental de dois sistemas de drenagem, valas abertas e drenos fechados com brita, nos espaçamentos de 6,0 e 4,5 m, respectivamente, controlados por uma testemunha sem drenagem, em três repetições na E.E.A. do Instituto Rio Grandense do Arroz no ano de 1977.

A partir dos perfis piezométricos e das curvas de decréscimo de descarga de valas e drenos e da carga hidráulica foi verificado o funcionamento das valas abertas e dos drenos fechados e o comportamento do lençol freático.

Com auxílio das relações entre a descarga de valas e drenos e a carga hidráulica foram analisados os sistemas com base no regime permanente e variável; os parâmetros do solo calculados com base no regime variável foram: condutividade hidráulica, $K = 0,17$ m/d e porosidade drenável, $p_d = 5,2\%$.

Da análise das propriedades físicas do solo não foram observadas diferenças entre os tratamentos neste primeiro ano de estudo.

1/ Dissertação de mestrado em Hidrologia Aplicada (Irrigação e Drenagem) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (123 fls.) Abril, 1978.

2/ Engenheiro Agrônomo pela ESALQ - USP, pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e bolsista do CNPq.

DRAINAGE TESTS IN PLANOSOLS OF
RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL 1/

Autor: Pedro Luiz de Freitas
Orientador: Prof. Paulo Dias de Castro Ramos

ABSTRACT

The basic aim of these tests was to obtain more information for the implementation of drainage systems in planosols in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. For this purpose a field experiment was prepared in 1977 at the experiment station of the Instituto Rio Grandense do Arroz. Two types of drainage systems were used, open ditches and ditches backfilled with gravel then soil at 6.0 and 4.5 m spacing respectively. There was also a control treatment with no drainage and each treatment was repeated three times.

A study was made of the functioning of the open ditches and closed drains and of the behaviour of the water table using piezometric profiles and discharge recession curves.

The drainage systems were analysed using both steady and non-steady state relationships between drain discharge and hydraulic head. Soil parameters calculated based on unsteady theory were: hydraulic conductivity, $K = 0,17$ m/d and drainable porosity, $p_d = 5,2$ %.

The analysis of physical properties of the soil did not show any significant differences between treatments during the course of this first year of study.

1/ Master's thesis for Applied Hydrology (Irrigation and Drainage) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. (123 fls.) Abril, 1978.

2/ Agricultural Engineer in ESALQ - USP, agricultural scientist of Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

SUMÁRIO

	Página
1. Introdução.....	01
2. Revisão Bibliográfica.....	03
2.1. Colocação do problema.....	03
2.2. Experimento de campo em drenagem.....	04
2.3. Teoria de Drenagem.....	11
2.3.1. Equação de Hooghoudt.....	13
2.3.2. Equação de Ernest.....	18
2.3.3. Profundidade equivalente.....	20
2.4. Efeito da drenagem nas propriedades físicas do solo.....	21
2.4.1. Relação das propriedades do solo com a drenagem.....	23
2.4.2. Resultados obtidos em campo.....	29
2.5. Embasamento teórico para a análise de dados...	31
2.5.1. Regime permanente.....	31
2.5.2. Regime variável.....	33
3. Materiais e métodos.....	35
3.1. Localização e característica do campo experimental.....	35
3.2. Descrição do solo.....	35
3.3. Descrição do clima.....	37
3.4. Tratamentos.....	37
3.4.1. Testemunha.....	39
3.4.2. Vala Aberta.....	39
3.4.3. Dreno fechado com brita.....	39
3.5. Dimensionamento e instalação do campo experimental.....	40
3.5.1. Coleta de dados básicos.....	40
3.5.2. Estimativa do espaçamento entre drenos.....	43
3.5.3. Dimensionamento do campo experimental..	47
3.5.4. Sistema de medições.....	50
3.6. Coleta e processamento de dados.....	55
3.6.1. Coleta de dados.....	55
3.6.2. Processamento de dados.....	58
3.7. Implantação e acompanhamento da cultura.....	60
3.8. Estudo das propriedades físicas do solo.....	62
4. Resultados e Discussão.....	67
4.1. Análise da carga hidráulica e da descarga de valas e drenos.....	69
4.2. Determinação dos parâmetros do solo a partir de dados de campo.....	72
4.2.1. Estudo baseado no regime permanente....	72
4.2.2. Estudo baseado no regime variável.....	93
4.3. Comportamento da cultura teste.....	95
4.4. Efeito da drenagem nas propriedades físicas do solo.....	106

	Página
5. Conclusões e Recomendações.....	111
6. Referências bibliográficas.....	113
7. Apêndices.....	118

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. características granulométricas dos horizontes da unidade de mapeamento Vaccaí.....	32
2. dados meteorológicos.....	32
3. valores calculados da condutividade hidráulica, K e da porosidade drenável, Pd	105
4. Produção de matéria seca total da cultura da aveia.	107
5. propriedades físicas do solo.....	110

RELAÇÃO DE FOTOGRAFIAS

	Página
1. parcelas sem drenagem.....	57
2. parcelas com valas abertas.....	57
3. Trincheiras para instalação de drenos fechados com brita.....	57
4. Idem - detalhe.....	57
5. Medição de descarga de valas abertas e drenos fechados.....	57
6. Leitura de piezômetros.....	57
7. Cobertura vegetal no tratamento 1 - testemunha sem drenagem.....	108
8. Cobertura vegetal no tratamento 2 - valas abertas..	108
9. Cobertura vegetal no tratamento 3 - drenos fechados com brita.....	108

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. dados obtidos de descarga de valas e drenos e carga hidráulica nos períodos de estudo.....	119
2. valores determinados de condutividade hidráulica...	122
3. valores determinados de velocidade de infiltração entre 120 e 180 minutos.....	123

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. teoria de drenagem.....	22
2. mapa plani altimétrico da área.....	42
3. posição do lençol freático.....	44
4. aplicação das equações no cálculo do espaçamento...	48
5. distribuição esquemática do campo experimental.....	51
6. detalhes da estrutura de medição de água drenada...	53
7. curvas para o estudo da descarga de drenos e da carga hidráulica.....	61
8. comportamento do lençol freático nos parcelas, período 1 - de 17 a 22 de agosto de 1977.	
8.1. tratamento 1 - testemunha sem drenagem.....	73
8.2. tratamento 2 - valas abertas.....	74
8.3. tratamento 3 - drenos fechados com brita.....	75
9. curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica após uma precipitação - período 1 - de 17 a 22 de agosto de 1977.....	76
10. comportamento do lençol freático - período 2	
10.1. tratamento 1 - testemunha sem drenagem.....	77
10.2. tratamento 2 - valas abertas.....	78
10.3. tratamento 3 - drenos fechados com brita.....	79
11. curvas de decréscimo da descarga e da carga hidráulica - período 2 - de 24 a 28 de agosto de 1977..	80
12. comportamento do lençol freático - período 3	
12.1. tratamento 1 - testemunha sem drenagem.....	81
12.2. tratamento 2 - valas abertas.....	82
12.3. tratamento 3 - drenos fechados com brita.....	83
13. curvas de decréscimo da descarga e da carga hidráulica - período 3 - de 6 a 10 de setembro de 1977.	84
14. comportamento do lençol freático - período 4	
14.1. tratamento 1 - testemunha sem drenagem.....	85
14.2. tratamento 2 - valas abertas.....	86
14.3. tratamento 3 - drenos fechados com brita.....	87
15. curvas de decréscimo da descarga e da carga hidráulica - período 4 - de 25 a 30 de outubro de 1977.	88
16. comportamento do lençol freático - período 5	
16.1. tratamento 1 - testemunha sem drenagem.....	89
16.2. tratamento 2 - valas abertas.....	90
16.3. tratamento 3 - drenos fechados com brita.....	91
17. curvas de decréscimo da descarga e da carga hidráulica - período 5 - de 31.outubro a 4.novembro.1977.	92
18. curvas de descarga e carga hidráulica versus tempo - período 1 - de 17 a 22 de agosto de 1977.....	96
19. curvas $Q/Ah \times \Delta h$ para estudo baseado no regime permanente - período 1.....	97
20. curvas de descarga versus carga hidráulica para estudo no regime variável - período 1.....	98
21. curvas de descarga e carga hidráulica versus tempo - período 2 - de 24 a 29 de agosto de 1977.....	99

22. curvas $q/\Delta h \times \Delta h$ para estudo baseado no regime permanente - período 2	100
23. curvas de descarga versus carga hidráulica para estudo no regime variável. - período 2	101
24. curvas de descarga e carga hidráulica versus tempo - período 5 - de 31.outubro a 04.novembro de 1977.	102
25. curvas $q/\Delta h \times \Delta h$ para estudo baseado no regime permanente - período 5	103
26. curvas de descarga versus carga hidráulica para estudo no regime variável. - período 5	104

1. INTRODUÇÃO

A drenagem de terras agrícolas em nosso meio torna-se dia a dia uma necessidade mais premente, mesmo assim poucos são os trabalhos realizados sobre o assunto. Os estudos são baseados na literatura estrangeira, com destaque para as publicações holandesas e americanas.

Com a finalidade de acrescentar algo ao estudo e as técnicas de drenagem, partiu-se de um problema: o mal aproveitamento das várzeas arrozeiras do estado do Rio Grande do Sul, durante a entressafra do arroz ou durante o "pousio" do solo; e, de um objetivo fundamental: dar subsídios a implantação de sistemas de drenagem nas referidas áreas, objetivo este que dá continuidade a linha de pesquisa do setor de Hidrologia Agrícola do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (melhoria das várzeas arrozeiras do estado).

Assim, o presente trabalho tem como objetivos:

- a. verificar o comportamento de dois sistemas de drenagem implantados, valas abertas e drenos fechados com brita, comparando-os a uma testemunha sem drenagem, que conserva as condições normais de planossolos do estado. Tal verificação é feita com a observação da descarga de valas e drenos por superfície de área e as variações do lençol freático (perfis piezométricos e carga hidráulica).
- b. analisar as observações de descarga de valas e drenos e da carga hidráulica, com base nos estudos teóricos, inicial-

mente no regime permanente, e, em segunda opção, no regime variável.

c. iniciar o estudo dos efeitos dos sistemas implantados nas propriedades físicas do solo, estabelecendo padrões para a pesquisa a longo prazo.

d. verificar o comportamento de uma cultura teste em presença do sistema de drenagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Colocação do problema

O Estado do Rio Grande do Sul, maior produtor de arroz do Brasil, teve em 1976 uma área de 470 mil ha produzindo 1,7 milhões de toneladas de arroz em casca (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO RIO GRANDE DO SUL, 1976). O arroz quando irrigado é cultivado na região do Litoral, da Campanha, do Baixo Vale do Uruguai e da Depressão Central, como informa BERGAMASCHI E BERLATO (1974). Temos que 5% da área do estado dispõe de infra estrutura para receber a cultura do arroz irrigado, porém apenas em 1/3 da área o arroz é efetivamente cultivado anualmente.

Esta situação é decorrente do modo que se conduz a cultura do arroz, que, como salienta RICHES (1971), devido a alta incidência de inços, principalmente o carim arroz, associado ao baixo nível de fertilidade do solo, ao manejo inadequado e a incidência de doenças, levam o agricultor a adotar a prática do pousio do solo. Neste período, geralmente 2 a 3 anos, esta área recebe culturas que, além de seu baixo rendimento, não se desenvolvem adequadamente pelo alto grau de umidade que estes solos comportam por suas características (ver 3.2 - solos). Em algumas áreas estes solos já recebem a rotação de arroz e soja na época de "pousio", porém, quando bem drenados podem receber outras culturas rentáveis como

milho, trigo, aveia e cevada.

2.2 Experimento de campo em drenagem

A drenagem de terras agrícolas visa a remoção, por meios artificiais, do excesso da água do solo ou da superfície, tornando a terra mais apropriada ao uso pelo homem. Na agricultura o objetivo é incrementar a produção, assegurar a colheita e reduzir os custos, com o intuito final de maximizar o lucro do empreendimento agrícola. (ILRI, 1972).

Tecnicamente, a drenagem pode resolver vários problemas e está associada a situações como o excesso de umidade e a falta de aeração, o alto nível do lençol freático, a irrigação excessiva e a salinidade. Devemos considerar que a prática de drenagem está comprometida a altos investimentos e por este motivo deve ser estudada em detalhes, antes de qualquer decisão final. Além disso, esta prática se baseia em propriedades do solo que, como salienta DIELTM (1974), são medidas em campo, como a condutividade hidráulica, a transmissividade e a porosidade drenável, envolvendo um volume de solo relativamente pequeno. Com base nisto, o técnico é obrigado a fazer um grande número de observações para que as medições sejam significativas, o que dificilmente acontece. Conseqüentemente, se faz necessário um campo experimental para verificar os valores utilizados no projeto inicial principalmente em áreas heterogêneas. Estes campos experimentais ampliam a segurança do projeto de drenagem e, por outro lado, servem

para coleta de dados de campo sobre o comportamento do lençol freático, do solo e da cultura.

Apesar da necessidade de utilização de campos experimentais em drenagem, WILLIAMSON E KRIZ (1970) nos alertam quanto a dificuldade de se transferir resultados de um local para outro, isto pelos diferentes tipos de solos, condições hidrológicas e climáticas. TRAFFORD (1970), citado por BROUGHTON (1972), estabelece que a drenagem em campo não é um tópico fácil, no qual se obtém dados experimentais satisfatórios para comparar a produção de culturas em terras sem drenagem e terras com diferentes intensidades de drenagem (profundidade e espaçamento). Afirma ainda que os dados de produtividade, que irão indicar as diferentes intensidades de drenagem, devem ser obtidos após vários anos de trabalho em um campo.

Note-se que, podemos dividir a finalidade dos campos experimentais em duas, uma primeira para servir de subsídio a projetos extensos e, uma segunda, para testar os sistemas de drenagem quanto a profundidade e espaçamento de "drênos", comportamento do lençol freático e, das propriedades do solo e, também, o comportamento da cultura. Quanto a última finalidade, temos algumas informações sobre trabalhos realizados, como segue:

KIRKHAM E DE ZEEUW (1952), apresentando um trabalho de drenagem, salientam que até aquela data, vários trabalhos de laboratório tinham sido realizados, porém, era encontrado apenas um trabalho em campo, datado de 1946, de Aronovici e

Donnam. Nesta oportunidade, Kirkham e de Zeeuw apresentam seu trabalho sobre o que acreditam ser as mais extensivas medidas feitas para testes das modernas teorias de drenagem. No citado trabalho, foram obtidas medidas do nível do lençol freático, chuva, permeabilidade e descarga de drenos, para drenos fechados com tubos a 1m de profundidade e valas abertas a 0,5 m de profundidade, nos espaçamentos de 8, 10, 12 e 16 m, em solo franco arenoso de textura moderadamente grossa. Na discussão apresentada sobre o trabalho os autores comentam a grande dificuldade encontrada na observação, e que possivelmente justifica a escassez de trabalhos sobre o assunto na literatura. Quanto à posição do lençol freático junto aos drenos encontraram um agudo abaixamento junto aos drenos com tubo, o que, baseado na teoria não era esperado. Concluem assim que a permeabilidade do material usado no fechamento das trincheiras era grande comparado com a do solo natural, fazendo com que os drenos se comportassem como valas abertas. Isto obrigou os pesquisadores a determinarem novos componentes para o fechamento das trincheiras. No que se refere a evapotranspiração, apesar de ser considerada pequena, foi objeto de cuidadoso estudo, já que, como afirmam os autores, para um solo de pequena porosidade drenável, pequenas quantidades evaporadas podem causar grandes mudanças no lençol freático.

Um experimento com drenos fechados com tubos em planos-solos é relatado por SCHWAB et alii (1957). A coleta de dados sobre a descarga dos drenos e profundidade do lençol frea

tico foram feitas durante seis anos para obter informações sobre o desempenho dos sistemas, em três espaçamentos: 4,5; 9,0 e 18,0 m, usando as culturas de milho, aveia e feno(hay) como testes de produção. Milho e aveia com espaçamentos de 4,5 e 9,0 m tiveram produção significativamente maior que o espaçamento de 18m, tendo o experimento de 9,0 m obtido os melhores resultados, Foi encontrado naquelas condições que os drenos não exercem muito efeito sobre o lençol freático, já que a descarga após um dia é pequena e isto pode ser explicado pelas quantidades consideráveis de água, que são retidas nos capilares. Por fim, comparando o volume de água drenado e a velocidade do abaixamento do lençol freático é indicado que após o primeiro dia, o lençol tem seu abaixamento causado mais pela evapotranspiração e outras perdas que propriamente pelo dreno.

O efeito de dois espaçamentos (9 e 18 m) e duas profundidades de drenos (0,6 e 0,9 m) no coeficiente de drenagem e na forma do lençol freático foi examinado por GOINS E TAYLOR (1959). Encontraram uma relação linear entre o coeficiente de drenagem e a altura do lençol freático acima dos drenos, melhor para drenos mais rasos, indicando assim ter havido uma influência de variação da condutividade hidráulica no perfil. Uma grande influência de umidade do solo anterior à precipitação foi constatada tanto na eficiência da remoção da água pelos drenos (30% quando o solo estava seco e 60 % quando úmido) como nas variações do lençol freático. Uma estimativa da condutividade hidráulica feita a partir de dados

de campo resultou em um valor quatro vezes maior que o obtido pelo método de Auger Hole.

GOULART (1975), usando tubos de argila no espaçamento de 8, 12 e 16 m em planossolo de Rio Grande do Sul, relatou que não houve diferença significativa na produção de milho entre os espaçamentos empregados. O nível do lençol freático entre drenos foi mais baixo no espaçamento de 8 m que no de 16 m. Por fim, relatou que o lençol freático esteve abaixo dos drenos em 81.3 % do ciclo da cultura de milho.

BROUGHTON (1972) cita algumas razões para explicar a obtenção de diferenças significativas na produção de grãos em terras drenadas quando comparadas com não drenadas, e diferenças não significativas entre parcelas com diferentes espaçamentos e profundidades de drenos. Salientamos entre elas a não inclusão de espaçamentos extensos, a influência entre as parcelas e o fato de que apenas em anos úmidos o lençol freático induzirá a inundação da superfície, provocando largas diferenças na produção devido a intensidade da drenagem.

Para a instalação do campo experimental, além da experiência trazida pelos trabalhos comentados, e outros não relacionados, temos informações de DIELEMAN (1974). O assunto é assim abordado:

a) a área do experimento deve ser selecionada considerando-se que o lençol freático deve ser influenciado apenas pela precipitação, irrigação e evaporação. Os resultados obtidos nesta área experimental deverão ser aplicados em uma grande área, desde que as condições hidrológicas, do solo e

outras sejam representativas.

b) as parcelas experimentais, que formam a unidade experimental, devem ser dimensionadas de acordo com a natureza do problema a ser investigado e as condições locais. Unidades de pequeno tamanho são mais vantajosas do ponto de vista da organização das observações e processamento de dados. É melhor ter boas observações de uma área pequena do que observações pobres e infrequentes de uma grande área.

c) as parcelas individuais tem sua dimensão governada pelos espaçamentos de drenos a serem testados e pela relação comprimento-largura, que deve ser maior que 5. Deve ser notado que, devido ao efeito de bordadura, medidas especiais de observação são requeridos para obter dados de confiança.

d) as parcelas devem ser arranjadas de maneira que não haja interferência entre as subunidades. A bordadura que separa as subunidades, deve ter um espaçamento igual ou maior espaçamento das parcelas. As descargas dos drenos centrais devem ser medidas preferencialmente em um dreno final, desprezando-se as bordaduras.

e) a descarga final do dreno pode ser medida de um dreno final ou individualmente nos drenos centrais. Deve ser notado que a capacidade do coletor deve ser alta para que o nível d'água permaneça abaixo dos drenos em alta descarga.

f) o nível freático é obtido a partir de poços de observação. A posição destes poços deve ser preferencialmente no ponto médio entre drenos e em pontos próximos aos drenos, preferencialmente a distâncias de 0,5, 1,2,4 m ou mais,

variando com o espaçamento, e ainda sobre os drenos, para verificar o funcionamento destes. Os poços podem ser buracos abertos ou com tubos perfurados.

A instalação de um campo experimental exige o conhecimento de todos os fatores que vêm a influenciar na escolha do espaçamento. Entre estes, temos os requisitos agronômicos, apresentados a seguir:

Segundo BROUGHTON (1972) seria ótimo se os requisitos agronômicos para drenagem fossem estabelecidos como o número de horas de saturação da zona radicular que uma cultura pode suportar ou, a profundidade da zona radicular em milímetros que nunca deverá estar saturada e a diferença diária em milímetros que deve ser drenada a mais por dia devido ao crescimento das raízes. Porém, como tal não acontece, temos que nos basear em informações que permitam estabelecer os parâmetros de funcionamento do sistema de drenagem.

Encontramos alguns experimentos que revelam as condições específicas para algumas culturas, porém, para a cultura da aveia estes deixam muito a desejar, como veremos a seguir.

BARRETO (1977) indica, entre as várias culturas de inverno, a Aveia (A. *Sativa*), cult. Coronado) como a ideal para testar experimentos de drenagem em planossolos por ser bastante suscetível ao excesso d'água e com baixa incidência de pragas e doenças na região.

COFFMAN E FREY (1961) afirmam que a umidade e a temperatura são consideradas os fatores mais importantes no cresci-

mento da aveia e ambos tem sido muito investigados. Porém, a luminosidade é o fator que tem recebido uma atenção especial. As exigências quanto ao solo, para a aveia, em geral, são as mesmas para o trigo e a cevada, com exceção do centeio. No entanto, estes autores não fazem referência quanto a influência do excesso d'água na cultura da aveia.

WILLIAMSON E KRIZ (1970), afirmam que um lençol freático a 15cm de profundidade tem produção máxima para certas culturas sob certas condições, enquanto outras culturas tem desenvolvimento melhor com o lençol freático a 150 cm ou em profundidades intermediárias. Para especificar uma profundidade ótima do lençol freático é necessário conhecer ao menos a espécie a ser usada, as características do solo e as condições hidráulicas.

WOUDT E HAGAN (1967), citam trabalhos a respeito da profundidade ideal do lençol freático. Entre eles, é citado Hooghoudt, que mostrou que em um solo argiloso na Holanda, o rendimento dos cereais tende a ser reduzido com o lençol freático a profundidades maiores que 90 cm. Em solos arenosos da Holanda, para um lençol freático a 70 - 75 cm foi obtido o maior rendimento relativo. Em solos de Turfa, Ware encontrou que a profundidade do lençol freático de 60 cm dava ótimos resultados.

2.3. Teoria de drenagem

A teoria de drenagem, como observa LUTHIN (1973), descre

ve o fluxo d'água em um sistema solo-água. O problema de campo é simplificado, tornando possível a obtenção de uma solução matemática. Pela existência de uma infinidade de condições do solo, a teoria apenas se aproxima das condições reais. Por este motivo, o exame das suposições feitas na derivação de uma teoria e a comparação com o problema a ser resolvido é o primeiro passo a ser tomado. Frequentemente, a teoria não corresponde exatamente com a situação existente, exigindo assim que o técnico use o seu bom senso.

PIZARRO (1976), diz que as fórmulas de drenagem são empregadas fundamentalmente para o dimensionamento dos sistemas de drenagem, uma vez que relacionam suas características (como espaçamento e profundidade), com certas características do solo, cultivos, etc..

Das características do solo, salientamos: (DIELEMAN E RIDDER, 1974. LUTHIN, 1973)

a) a condutividade hidráulica (K), expressa em m/d ou cm/h, que deriva da Lei de Darcy, é definida como a velocidade aparente do fluxo quando o gradiente hidráulico (i) for unitário. Depende da água do solo (fluido) e do solo (meio).

b) profundidade da camada impermeável, expressa em m, considerando como camada impermeável aquela que tenha 1/10 de permeabilidade da camada superficial.

c) profundidade do lençol freático, expresso em m, considerando como lençol freático a superfície onde a pressão é igual a pressão atmosférica, sendo a pressão positiva abaixo desta e negativa acima.

d) coeficiente de recarga (R), expresso em m/d ou mm/d, o incremento na quantidade de água no solo por unidade de superfície, por unidade de tempo.

As fórmulas de drenagem podem ser estudadas sobre dois aspectos:

a) sob regime permanente, onde supõe-se haver uma recarga uniforme, que é igual a quantidade de água retirado pelos drenos.

b) sob regime variável, onde a recarga não é uniforme, havendo flutuação do lençol freático.

2.3.1. Equação de Hooghoudt

No regime permanente, o problema é determinar a altura que o lençol freático atingirá no ponto equidistante entre drenos para que a descarga se iguale a recarga.

LUTHIN (1973) nos apresenta a teoria de Hooghoudt como sendo de solução matemática simples para a resolução dos problemas de drenagem. Hooghoudt faz algumas suposições, tais como:

a) o solo é homogêneo e de condutividade hidráulica K

b) o espaçamento entre os drenos é igual a S.

c) o gradiente hidráulico (i) em um ponto do lençol, P, é igual a declividade do lençol freático acima deste (teoria de Dupuit-Forchheimer), sendo $i = \frac{d_y}{d_x}$

d) a lei de Darcy é considerada válida para o fluxo da água no solo ($v = -K i$).

e) presença de uma camada impermeável abaixo dos drenos na profundidade igual a d .

f) a intensidade de recarga do lençol freático é R

g) a origem das coordenadas está sobre a camada impermeável, abaixo do centro de um dos drenos.

Considerando um plano vertical pelo ponto P , do lençol freático à camada impermeável (ver figura 1a), temos que toda a água que estiver entre o plano considerado e o plano no ponto médio entre os centros dos drenos, ou seja, o divisor de águas, terá que passar pelo primeiro para chegar ao dreno. Sendo R a recarga que ocorre sobre a área de superfície do solo (m/d), a quantidade total de água que atravessará o plano pelo ponto P será igual a R multiplicado pela distância entre este plano e o plano no ponto médio entre drenos, ou seja, $(S/2 - x)$, por unidade de comprimento de drenos. A quantidade de água que flui por unidade de tempo através do plano será:

$$q_x = (S/2 - x) \cdot R \quad (1)$$

Lembrando que o gradiente hidráulico (i) é igual a declividade do lençol acima do ponto P , ou seja, dy/dx . Sendo a distância do lençol freático à camada impermeável igual a y , a área transversal do fluxo no plano será igual a $(y \cdot l)$. Assim, pela lei de Darcy, teremos:

$$q_x = K y \, dy/dx \quad (2)$$

Substituindo q_x em 1 e 2, teremos:

$$(S/2 - x) R = K y \, dy/dx$$

de onde obtemos:

$$S/2 R dx - R x dx = K y dy$$

e, integrando:

$$S/2 R x - R x^2/2 = K y^2/2 \quad (3)$$

Estabelecendo os limites de integração a seguir:

$$x = 0, y = D$$

$$e, x = S/2, y = D + \Delta h$$

onde:

D = altura da superfície d'água nos drenos a partir da camada impermeável (m).

Δh = altura do lençol freático no ponto médio entre drenos, medido a partir do nível d'água nos drenos (carga hidráulica).

teremos:

$$\frac{R S^2}{4} - \frac{R S^2}{8} = \frac{K (2 D \Delta h + \Delta h^2)}{2}$$

assim, a forma final da equação de Hooghoudt será:

$$R = \frac{8 K D \Delta h + 4 K \Delta h^2}{S^2} \quad (4)$$

A equação 4 é a representação de uma elipse que, com algumas alterações nos dá as dimensões dos semi eixos. Assim, a partir da equação 3, translocando a origem do sistema pelo eixo das abcissas para o ponto equidistante entre drenos, as coordenadas do ponto P passarão a ser (x', y') , onde:

$$x' = S/2 - x$$

que substituindo na equação 3 teremos

$$\frac{y^2}{R S^2/4K} + \frac{x'^2}{S^2/4} = 1 \quad (5)$$

que é a equação de uma elipse e de onde tiramos que:

$$a^2 = S^2/4; \quad a = S/2, \quad \text{semi eixo maior}$$

$$e, \quad b^2 = RS^2/4K; \quad b = S/2\sqrt{R/K}, \quad \text{semi eixo menor.}$$

A equação de Hooghoudt pode ser escrita como:

(WESSELING, 1973)

$$q = \frac{8 K D \Delta h}{S^2} + \frac{4 K \Delta h^2}{S^2} \quad (6)$$

Da equação 6 temos que, quando $D = 0$, ou seja, o dreno está imediatamente sobre a camada impermeável, a equação será:

$$q = \frac{4 K \Delta h^2}{S^2} \quad (7)$$

que se refere ao fluxo horizontal acima dos drenos (equação de Rothe). Se, ao invés disto, D for muito superior a Δh , ou seja, a camada impermeável estiver a uma grande profundidade, podemos desprezar o segundo membro da equação 6 e assim teremos:

$$q = \frac{8 K D \Delta h}{S^2} \quad (8)$$

A equação 8 refere-se ao fluxo horizontal abaixo dos drenos.

A equação de Hooghoudt se baseia nos seguintes princípios:

se as valas não chegam até a camada impermeável, as linhas de fluxo não serão paralelas e horizontais, porém, convergentes ao dreno (fluxo radial), consideração esta que não acarretará em erros.

- o fluxo radial causa um alongamento das linhas de fluxo, causando uma perda mais que proporcional da carga hidrau

2.3.2. Equação de Ernst

WESSELING (1973) apresenta ainda os princípios da equação de Ernst que, como a equação de Hooghoudt, é encontrada como a soma das cargas hidráulicas requeridas para os vários componentes de fluxo próximo aos drenos, que podem ser divididos esquematicamente.

Em analogia a lei de Ohm temos que:

$$q = \Delta h/w \quad \text{ou} \quad \Delta h = qw$$

onde:

q = coeficiente de drenagem

Δh = carga hidráulica

w = resistência

Dividindo o fluxo em vertical, horizontal e radial, teremos as resistências do solo, que serão: w_v (vertical), w_h (horizontal) e w_r (radial), (figura 1c), assim temos:

$$\Delta h = w_v + q S w_h + q S w_r$$

onde $q.S$ é a descarga por unidade de comprimento de drenos.

A equação pode ser escrita como:

$$\Delta h = q \frac{D_v}{K_v} + q \frac{S^2}{8 \Sigma (KD)_h} + q \frac{S}{K_r} \ln \frac{a D_r}{r_u} \quad (13)$$

onde:

Δh = carga hidráulica total, soma das cargas hidráulicas devido aos fluxos (horizontal, vertical e radial); é expresso como a altura d'água no ponto médio entre drenos, acima destes (m).

q = descarga dos drenos por unidade de área ($m^3/d.m^2$)

S = espaçamento entre drenos. (m)

K_v = condutividade hidráulica na camada com fluxo vertical

K_r = condutividade hidráulica para fluxo radial (m/d)

D_v = espessura da camada na qual ocorre o fluxo vertical (m)

D_r = espessura da camada com fluxo horizontal (m)

$\Sigma(KD)_h$ = transmissividade das camadas do solo através das
quais ocorre o fluxo horizontal (m^2/d)

u = perímetro molhado do dreno (m)

a = fator geométrico, função das condições do fluxo.

Os valores D_v , D_h vão variar com a posição dos drenos em relação a transição entre as camadas de diferentes condutividade hidráulica.

A equação de Ernst para solos homogêneos vem a sofrer algumas modificações, assim,

$D_v = y + \Delta h$ = espessura da camada entre a altura máxima do lençol freático (ponto equidistante aos drenos) e o fundo dos drenos.

$\Sigma(KD)_h = KD_1$, sendo K a condutividade hidráulica (homogênea no perfil) e D_1 a altura média do lençol freático a partir da camada impermeável.

$D_r = D$, a altura do nível d'água nos drenos a partir da camada impermeável.

A equação de Ernst para solos homogêneos é:

$$\Delta h = q \frac{y + \Delta h}{K} + q \frac{S^2}{8 K D_1} + q \frac{S}{\pi K} \ln \frac{D}{u} \quad (14)$$

os termos da equação 14 são mostrados na figura 12.

O valor do perímetro molhado (u) é dado pelas relações:

- para valas abertas,

$$u = b + 2y \sqrt{s^2 + 1}$$

onde:

b = largura da base da vala.

y = altura d'água na vala.

s = declividade da parede da vala (horizontal/vertical)

- para drenos com tubos,

$$u = \pi r$$

onde:

r = raio do tubo, considerando-se que o nível d'água seja metade do diâmetro do tubo.

2.3.3. Profundidade equivalente

A partir das equações 7 (Hooghoudt) e 14 (Ernst) para solos homogêneos obtemos o valor da profundidade equivalente (figura 1b) onde a profundidade da camada impermeável, abaixo do nível d'água nos drenos, é menor que a quarta parte do espaçamento entre os drenos ($D < 1/4 S$)

De Hooghoudt temos que:

$$\Delta h = \frac{q S^2}{8 K d_e}$$

e, de Ernst

$$\Delta h = \frac{q S^2}{8 K D} + \frac{q S}{\pi K} \ln \frac{D}{u}$$

igualando as equações a partir de Δh , temos:

$$\frac{q S^2}{8 K d_e} = \frac{q S^2}{8 K D} + \frac{q S}{\pi K} \ln \frac{D}{u}$$

assim, após arranjo obtemos:

$$d_e = \frac{D}{1 + \frac{3D}{1S} \ln \frac{D}{u}} \quad (15)$$

onde:

d_e = profundidade equivalente (em m)

D = profundidade da camada impermeável a partir do nível da água nos drenos (em m) ..

S = espaçamento entre drenos (em m)

u = perímetro molhado (em m)

2.4. Efeito da Drenagem nas propriedades físicas do solo.

Como todas as alterações realizadas artificialmente no sistema solo - água - ar - planta, a drenagem vem a surtir efeito em algumas propriedades do solo.

HUNDALL et alli (1976) afirmam que, apesar do investimento econômico considerável que a drenagem agrícola representa, seus efeitos sobre as propriedades físicas do solo em condições de campo são pouco estudados sendo limitado o número de artigos encontrados na literatura. Estes mostram que a drenagem subterrânea resulta em uma grande agregação do solo e uma distribuição de tamanho de poros mais favorável, além de uma redução na compressibilidade do solo.

Na literatura geral de drenagem existe uma grande preocupação com as propriedades do solo que vão influir na drenagem do solo. Entre estas destacamos a condutividade hidráulica

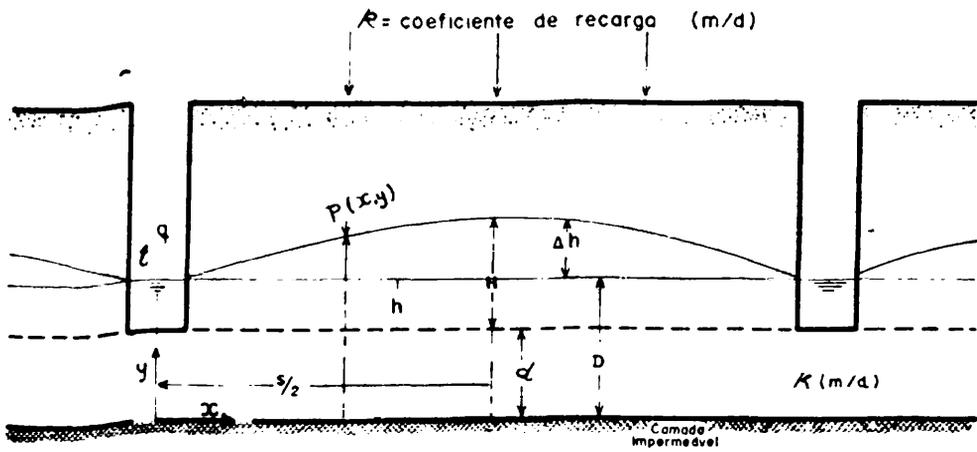


Figura 1a. diagrama da equação de Hooghoudt (LUTHIN, 1973)

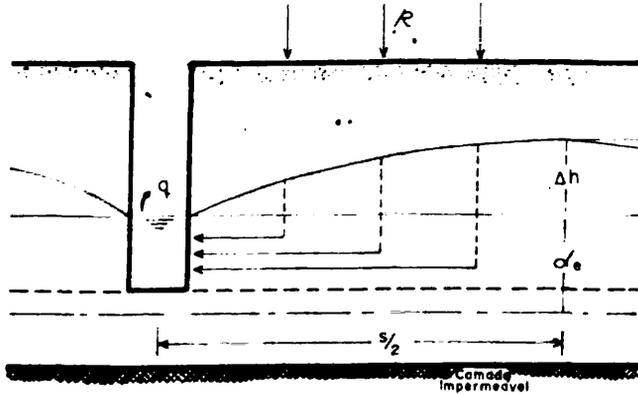


Figura 1b. conceito de profundidade equivalente (d_e) considerando o fluxo horizontal (WESSELING, 1973)

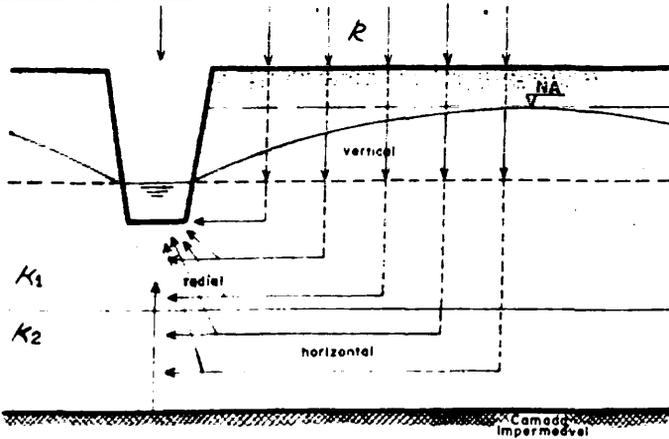


Figura 1c. diagrama de fluxos próximos ao dreno por Ernst (WESSELING, 1973)

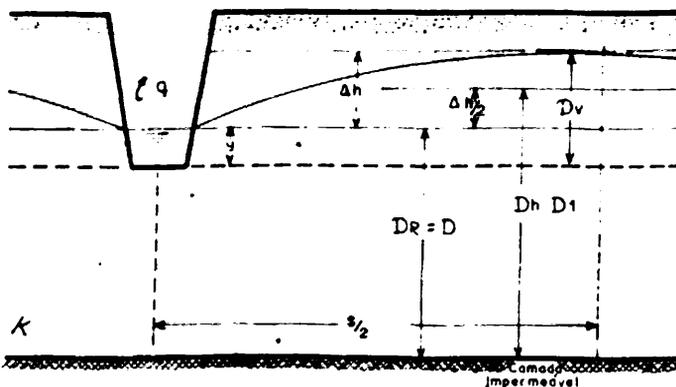


Figura 1d. termos da equação de Ernst para solos homogêneos (WESSELING, 1973)

ca, a configuração do lençol freático, a profundidade, forma, vazão e espaçamento dos drenos (HILLEL, 1970), a curva de retenção de umidade, a macroporosidade (porosidade drenável) e capilaridade (PIZARRO, 1976). Porém, quanto a influência da drenagem nas propriedades físicas do solo existe pouca coisa, a não ser resultados práticos de trabalhos como o de Hundall e outros, já citado."

2.4.1. Relação das propriedades do solo com a drenagem.

No que se refere as propriedades do solo que tem relação direta com o manejo da água do solo e o crescimento das plantas, BEERS (1972) relaciona cuidadosamente, tanto as propriedades físicas como as químicas. Das informações apresentadas, salientamos alguns itens importantes à presente discussão.

Inicialmente Beers nos mostra um quadro de interrelacionado entre fatores de três classes, que são.

a. os fatores classe "A", aqueles resultantes da formação do solo, chamados de características básicas do solo. São os seguintes:

- textura do solo, especialmente conteúdo de argila.
- composição mineral da fração argila.
- matéria orgânica, tipo e quantidade.
- conteúdo de carbonatos livres na superfície do solo.

b. a interação dos fatores classe "A" resulta nas propriedades físicas do solo, chamados fatores classe "B", como segue:

- estrutura do solo, compreendendo:
 - formação de agregados
 - porosidade
 - estabilidade estrutural
 - perfil estrutural
- consistência do solo quando saturado, úmido e seco.
- cor do solo

c. da derivação dos fatores classe "B", propriedades físicas do solo, e de uma segunda derivação dos fatores classe "A", características básicas, temos os fatores classe "C" que são as qualidades agro-físicas do solo, ou seja:

- relativo a camada superficial:
 - arabilidade
 - resistência a desintegração por ação d'água
 - encrostamento
 - erodibilidade
 - velocidade de infiltração
 - capacidade de armazenamento de água
- relativo ao subsolo:
 - profundidade efetiva das raízes ou zona radicular
 - capacidade de armazenamento de água
 - drenagem interna

Todos os fatores relacionados são comentados por Beers e baseado neste salientamos alguns itens de maior aplicação, que são os seguintes:

a. estabilidade estrutural

Os agregados variam de acordo com sua resistência ao

impacto da chuva, ao escoamento superficial e as condições de saturação. O crescimento das plantas, a aeração, o escoamento superficial e a erosão dependem em muito da estabilidade estrutural da camada superficial. Como a estabilidade é determinada geralmente pelo conteúdo de matéria orgânica no solo, pelo conteúdo de silte e de areia muito fina em relação ao conteúdo de argila, pelos componentes químicos associados a argila (Ca e Na) e pelos cimentantes minerais (Fe, Al, Si e Hidroxilas), a estrutura será instável quando o solo apresentar um baixo conteúdo de matéria orgânica, um alto conteúdo de silte e areia fina e um relativamente alto conteúdo de argila.

A massa do solo pode se dispersar ou liquefazer (slaking) quando este é trabalhado em estado de saturação. Isto causa o encrostamento superficial quando do secamento desta massa do solo. O solo pode ainda tornar-se plástico (puddled) quando submetido a forças mecânicas, como gotas de chuva, pisoteio de animais e lavração de solos saturados. Campos de arroz são usualmente manuseados visando destruir os macroporos e produzir uma camada bastante densa, quase impermeável, que impede a perda excessiva de água por infiltração subterrânea.

A estrutura de um perfil refere-se ao tipo, espessura e sequência das várias estruturas do solo. O armazenamento e a transmissividade do perfil do solo será distinta quando o perfil consistir de areia sobre argila ou, de argila sobre areia. Assim, o posicionamento da camada densa do solo adqui-

re especial importância quanto a percolação, aeração e penetração de raízes. Tais camadas, ou uma mudança abrupta na textura ou estrutura vem a determinar a profundidade efetiva do solo.

b. umidade do solo.

Outro fator importante que Beers espõe é a umidade do solo. Podemos distinguir duas categorias, ou seja, a transmissividade e a retenção de água pelo solo, como segue:

- transmissividade da água.

A velocidade do movimento de água é governada pela força gravitacional e capilar, e pela permeabilidade do solo. Esta última é usada geralmente para designar a quantidade e a eficiência com que o solo conduz ou transmite a água. Para definir a permeabilidade temos que definir o seguinte:

- velocidade de infiltração, a qual determina as relações entre a absorção de água e o escoamento superficial.

- velocidade de percolação, que determina a drenagem interna do perfil do solo.

- condutividade hidráulica, que é o fator de proporcionalidade da lei de Darcy (K), importante no estudo do fluxo subterrâneo d'água no solo.

- umidade disponível no solo.

A capacidade de retenção d'água que é disponível às plantas é um fator muito importante no uso da terra. Sua aplicação se dá tanto onde há chuvas adequadas como em projetos de irrigação.

A água disponível é a capacidade de retenção de umidade

do solo de uma amostra em estrutura natural entre a capacidade de campo e o ponto de murcha, que é o conteúdo de umidade retido a tensões de 0,3 e 15 atm respectivamente.

c. ar do solo.

O ar do solo é um fator também importante que pode limitar o crescimento das plantas, principalmente em solos de textura média e fina em climas úmidos e em solos irrigados.

A aeração do solo consiste basicamente em suprir de oxigênio (O_2) as plantas e microorganismos do solo e retirar o dióxido de carbono (CO_2) resultante. O ar do solo ocupa, normalmente, 40 a 50% da porosidade do solo. Logicamente uma quantidade excessiva de água implica em um deficit de ar. Na prática podemos considerar um solo com boa aeração quando este tiver 10% de volume ocupado com ar.

A troca de gases entre o solo e a atmosfera é feita por dois mecanismos, a difusão e o fluxo de massa sendo o primeiro o mais importante. Na difusão, os gases se movem em resposta a uma diferença de pressão parcial em decorrência do processo de respiração das plantas e microorganismos no solo, quando a concentração de oxigênio é diminuída e a de CO_2 aumentada. O coeficiente de difusão é determinado pelo volume e continuidade dos poros de aeração. Experiências tem mostrado que uma camada de solo com a superfície compactada ou um encrostamento do solo é uma influência bastante negativa na aeração do solo, especialmente sob condições de saturação e alta temperatura.

O principal objetivo da drenagem é o de proporcionar re

lações solo-água-ar favoráveis e, a partir daí poderemos fazer uma distinção entre drenagem visando a cultura e drenagem visando as condições do solo; a primeira promove a aeração da zona radicular durante o ciclo da cultura e a segunda tem dois objetivos, manter a estrutura do solo, a temperatura e um bom nível de nitrogênio para proporcionar um ambiente favorável a implantação da cultura e manter o solo em boas condições de mecanização para receber a cultura.

d. temperatura do solo.

A temperatura do solo é um fator que vem a influir na germinação das sementes e no crescimento das raízes, variando com a espécie. A mudança de temperatura se dá mais rapidamente quanto mais seco for o solo; isto se deve ao maior calor específico d'água (1 cal/g) em relação ao solo seco (aproximadamente 0,2 cal/g) fazendo assim com que solos mal drenados permaneçam 4 a 6°C mais baixo que solos bem drenados, desde que os solos tenham a mesma cobertura vegetal.

2.4.2. Resultados obtidos em campo

Alguns trabalhos sobre os efeitos da drenagem nas propriedades físicas do solo tem sido apresentados. De todos eles temos a referência do trabalho comentado por HOOGHOUTD (1952). Neste trabalho os níveis do lençol freático são mantidos a 40, 60, 90, 120 e 150 cm durante sete anos. Hooghoudt relata que nos primeiros cinco anos foram notadas diferenças quanto a arabilidade e a estrutura do solo. Após este período

do, os tratamentos onde o lençol freático permaneceu a 40 cm de profundidade e, em menor grau, a 60 cm, houve uma compactação da superfície do solo.

LEYTON E YADAV (1960) compararam as propriedades físicas de um solo pesado quando drenado e não drenado. Após cinco anos de implantação do experimento, a textura, a estabilidade de agregados em água, a condutividade hidráulica e a relação poros-sucção foram determinadas. Os resultados obtidos determinam em primeiro lugar uma diferença na textura do solo nas parcelas drenadas e não drenadas, o que é causado por uma heterogeneidade do campo experimental antes do experimento, isto não permite que uma análise quantitativa das outras propriedades seja fidedigna. Independente deste fato, foi detectado um acréscimo no conteúdo de agregados estáveis em água, na proporção de macroporos e na condutividade hidráulica, vertical e horizontal. Estes efeitos geralmente decresceram com a profundidade, sendo insignificante a diferença abaixo dos 40 cm. Os autores justificam alguns efeitos como sendo devido as melhores condições de aeração e seu efeito na atividade das raízes e da fauna do solo. Por outro lado, acreditam que o regime de umidade nos dois solos foi significativo uma vez que a saturação é apresentada como deterioradora da estrutura do solo, assim o solo não drenado teria uma estrutura mais pobre que a drenada.

Um experimento realizado em solo argilo-siltoso, de leito de lago, em Ohio - USA, tem sido utilizado para vários trabalhos. O experimento foi implantado em 1957 com quatro tra-

tamentos, que consistem de: parcelas não drenadas, parcelas com drenagem superficial (valas rasas), parcelas com drenagem subterrânea (tubos de concreto de 10 cm de diâmetro a 90 cm de profundidade e com 12 m de espaçamento) e uma combinação de drenagem superficial e subterrânea.

FAUZEY & SCHWAB (1969) apresentam um trabalho realizado nove anos após a instalação do citado campo experimental. Nesta ocasião foram comparadas as seguintes características:

- a. umidade média a quatro profundidades nos 30 cm superficiais durante o preparo do solo.
- b. condição de cultivo por ocasião do preparo do solo expressa em encrostamento e resistência à penetração na superfície.
- c. comportamento da cultura implantada, medidas quanto ao stand (plantas por metro linear), crescimento radicular e da massa verde e produção de grãos.

Nas parcelas não drenadas, o stand foi esparso e o crescimento nulo, já que houve grandes períodos com água estagnada e foi evidente a presença de crostas e estrutura adversa na superfície do solo. Nas parcelas drenadas não foram encontradas diferenças significativas na densidade do solo na superfície e no stand. As parcelas com drenagem subterrânea (apenas e combinado com drenagem superficial) tiveram mais baixa umidade, menor resistência a penetração e menor encrostamento, plantas mais altas, melhor desenvolvimento de raízes e maior produção que as parcelas com drenagem superficial apenas.

O mesmo campo experimental foi usado 16 anos após a implantação por HUNDALL et alii (1976), no qual foram testadas a resistência a penetração e a compressão, a condutividade hidráulica e distribuição de poros até 30 cm de profundidade. Hundall e outros encontraram nas parcelas com drenagem subterrânea uma maior condutividade hidráulica, uma menor compressibilidade e menor resistência a penetração da superfície quando comparadas com tratamento sem drenagem e com drenagem superficial. Nas parcelas com drenagem subterrânea houve também, em menor grau, um decréscimo na densidade do solo e um acréscimo do volume de porosidade com ar nas tensões de 0,02 e 1,0 atm. O experimento foi testado com a consorciação de uma gramínea e alfafa, mostrando que a produtividade decresce na seguinte ordem: parcelas com drenagem combinada, parcelas com drenagem subterrânea, parcelas com drenagem superficial sem drenagem.

Assim, trabalhos apresentados nos autoriza a dizer que os efeitos de um sistema de drenagem em um solo serão significativos após, aproximadamente, cinco anos da instalação destes (HOOGHOUDT, 1952). Apesar disto, o assunto pode ser discutido, de tal forma que as propriedades físicas do solo sejam avaliadas ano a ano até que as diferenças possam ser detectadas e discutidas.

2.5 Embasamento teórico para a análise de dados.

2.5.1. Regime permanente (Hooghoudt)

DIELEMAN (1974) apresenta o processamento de dados baseado na equação de Hooghoudt, equação 11, apresentada no item 2.3.1

A equação 11 pode ser escrita em função de q e Δh , como segue:

$$q = A\Delta h + B\Delta h^2 \quad (16)$$

ou

$$q/\Delta h = A + B\Delta h \quad (17)$$

onde:

$$A = \frac{8 K d_e}{S^2} \quad e \quad B = \frac{4 K}{S^2}$$

Assim, dispondo de dados de descarga de drenos e de carga hidráulica, podemos, com o auxílio das equações 16 e 17 estimar a origem do fluxo e calcular a condutividade hidráulica e a profundidade equivalente, baseado no seguinte:

- a. Plotando a intensidade do fluxo no sistema em estudo. Sendo que $A\Delta h$ refere-se ao fluxo horizontal abaixo dos drenos e $B\Delta h$ ao fluxo horizontal acima destes (equação 16), se a curva obtida for uma reta, $B\Delta h^2$ é negligenciável em relação a $A\Delta h$, assim o fluxo se dará predominantemente abaixo dos drenos, ou seja, d_e é muito superior a Δh . Se a curva obtida sugerir uma semi parábola, o fluxo se dará acima dos drenos e, assim, quanto mais a curva se distanciar de uma reta, o valor de Δh mais se aproximará do valor de d_e .
- b. Baseando-se agora na equação 17, e plotando valores de $q/\Delta h$ (ordenadas) e Δh (abcissas) em um papel decimal, obtemos uma reta de coeficiente angular B e coeficiente linear A . Do valor do coeficiente angular obtemos o valor da condutivi

dade hidráulica e, do coeficiente linear o valor da profundidade equivalente.

2.5.2. Regime variável

DIELEMAN (1974), baseando-se nas equações derivadas por Kraijenhoff Van de Leur apresenta a relação a seguir:

$$q(t) = \frac{2 P_d}{j} \Delta h(t) \quad (18)$$

onde:

$q(t)$ = valor da descarga dos drenos no tempo t .

$\Delta h(t)$ = valor da carga hidráulica no tempo t .

P_d = porosidade drenável

j = coeficiente de reserva de água do solo (expresso em dias), comentado a seguir.

Da equação 18 temos:

$$q/\Delta h = \frac{2 P_d}{j} \quad (19)$$

sendo $q/\Delta h$ o valor médio da relação, obtido pelo coeficiente angular da curva q x Δh (escala decimal)

O Coeficiente de Reserva é obtido pela relação:

$$j = \frac{1}{2,3 \operatorname{tg} \alpha} \quad (20)$$

onde $\operatorname{tg} \alpha$ é o valor médio dos coeficientes angulares obtidos a partir das curvas $\log Q$ x t e $\log \Delta h$ x t .

As relações são válidas para um período de tempo durante o tempo de recessão, iniciando-se a 0,4 j após o fim da recarga.

A equação a seguir relaciona o valor do coeficiente de

reserva (j) e os fatores do solo:

$$j = \frac{p_d s^2}{\pi^2 K d_e} \quad (21)$$

onde:

S = espaçamento entre drenos

K = condutividade hidráulica

d_e = porosidade drenável

Assim, de 20 e 21, temos:

$$\frac{\pi^2 K d_e}{r_d^2 s^2 2,3} = \text{tg } \alpha \quad (22)$$

de onde tiramos o valor da porosidade drenável (p_d),

$$p_d = \frac{\pi^2 K d_e}{2,3 s^2 \text{tg } \alpha} \quad (23)$$

Substituindo o valor de j obtido na equação 21, na equação 19, temos:

$$q/\Delta h = \frac{2\pi K d_e}{s^2} \quad (24)$$

que, rearranjando,

$$K = \frac{s^2}{2\pi d_e} q/\Delta h \quad (25)$$

O valor de K obtido na equação 25 é substituído na equação 23 de onde é obtido o valor da porosidade drenável.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Localização e característica do campo experimental

O experimento foi instalado em área característica das várzeas arrozeiras do estado, cedida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) na Estação Experimental do Arroz em Caçoerinha (RS). No período de março a agosto do ano de 1977 foi feito o dimensionamento e instalação do experimento e, de agosto a novembro a coleta de dados para o trabalho.

A instalação do experimento tornou-se viável pelo posicionamento da área escolhida próximo a uma sanga, o que oferece boas condições de desaque as águas captadas no sistema de drenagem.

3.2. Descrição do solo.

O solo é um planossolo classificado na unidade de mapeamento Vacacaí, pelo levantamento de reconhecimento dos solos do estado (BRASIL, 1973). São solos de textura média, relevo plano, substrato de sedimentos aluviais recentes onde predominam solos drenados, bastante influenciados pela presença de água. No perfil há desenvolvimento de cores cinzentadas, características de gleização, além de apresentar mosqueados de várias tonalidades, principalmente, onde é mais marcante a presença de água, nos horizontes inferiores. O uso atual é

com a cultura do arroz irrigado e pastagens, sendo potencialmente indicado para pastagens e rotação com arroz e soja, sendo os campos de regular a boa qualidade, com facilidade de irrigação. Estes solos apresentam alta infestação de capim arroz (Echinochloa sp).

O perfil é assim descrito:

- A₁₁ 0 - 30 cm; Bruno escuro, {10YR 3/3, úmido}; franco arenoso; poroso, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara; raízes abundantes.
- A₁₂ 30 -45 cm; Bruno amarelado escuro, {10YR 5/3, úmido}; franco arenoso; poroso, friável, não plástico e não pegajoso; transição clara, raízes abundantes.
- A₂₁ 45 -60 cm; Bruno, {10YR 5/3, úmido}, mosqueado pequeno distinto e bastante, Bruno forte, {7.5YR 5/8, úmido}; franco arenoso, friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e plana; raízes comuns.
- A₂₂ 60 -70 cm; cinzento claro, {10YR 2/2, úmido}, mosqueado pequeno distinto e bastante; franco arenoso; sem estrutura; poroso e com alguns porosos grandes, solto, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e plana; raízes poucas.
- B_{2g} 70-120 cm, cinzento, {10YR 5/1, úmido}, devido aos "coatings", Bruno amarelado, {10YR 5/4, úmido amassado}, mosqueado grande abundante e proeminente, vermelho, {10YR 4/8, úmido}, mosqueado grande comum e distinto, Bruno amarelado claro; {10YR 6/4, úmido}; franco argiloso ;

- .. "coatings"; pouco poroso, extremamente duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana; raízes poucas.
- G 120-200 cm ou mais; cinza clivácea claro, {5YR 6/2, úmido}, mosqueado preto devido ao manganês amarelado; franco argiloso; pouco poroso, firme, muito plástico e muito pegajoso; raízes abundantes. ..

A tabela 1 mostra a característica granulométricas e pH dos horizontes.

3.3. Descrição do clima.

O clima é classificado como Cfa (clima temperado úmido) segundo Koppen. Na tabela 2 são apresentados os dados meteorológicos obtidos no período de 1945 a 1976 para a Estação Meteorológica do Ministério da Agricultura em Porto Alegre, distante 15 km da área, por ALTHOFF (1977).

3.4. Tratamentos.

No experimento foi observado o desempenho de dois sistemas de drenagem, com vala aberta e com dreno fechado com brita, que foram controlados a partir de uma testemunha sem drenagem. Os tratamentos são descritos a seguir.

Tabela 1. Características granulométricas dos horizontes da unidade de mapeamento Vacacaí (BRASIL, 1973)

Hor.	prof. cm	pH	granulometria (%)			
			areia		silte	argila
			grossa 2 - 0,2*	fina .0,2-0,05		
A ₁₁	0- 30	5,0	21	43	26	10
A ₁₂	30- 45	5,0	21	43	20	8
A ₂₁	45- 60	5,3	21	46	20	4
A ₂₂	60- 70	5,8	21	45	32	2
B _{2g}	70-120	5,4	13	21	22	34
C	120-200	5,9	7	25	38	30

* - em milímetros.

Tabela 2. Dados meteorológicos.

elemento ^{mes}	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	MÉDIA ANUAL	TOTAL ANUAL
Precipitação (mm)	123,6	105,0	120,6	139,3	116,7	70,1		1241,9
Temp. média mensal (°C)	14,6	14,2	15,1	17,0	18,9	21,3	19,5	
Temp. média máxima (°C)	19,9	19,8	20,9	22,1	24,3	27,1	25,1	
Temp. média mínima (°C)	11,0	10,4	11,1	13,3	15,0	16,9	15,5	
Umidade Relativa (%)	83,3	82,8	79,2	78,8	75,1	70,7	76,6	
Evaporação média (mm)	33,7	37,2	45,9	50,1	66,6	82,0		757,7
Insolação média (hrs)	146,3	163,1	178,5	154,9	213,4	240,3		2442,4

3.4.1. Testemunha.

Este tratamento foi constituído de parcelas que não comportaram qualquer sistema de drenagem. Por este motivo suas condições foram consideradas as mesmas daquelas que teríamos se não houvesse o experimento. Observou-se o comportamento do lençol freático, da cultura teste e das características do solo. (Foto 1)

3.4.2. Vala aberta.

As parcelas foram drenadas por um sistema de valas abertas paralelas de 90 cm de profundidade, com 70 cm no topo e 30 cm no fundo, abertas manualmente. Nestes tratamentos foi observada a descarga dos drenos, o comportamento do lençol freático, da cultura e as características do solo. (Foto 2)

3.4.3. Dreno fechado com brita.

Neste tratamento foi utilizado um sistema de drenagem subsuperficial, com pedra britada nº 1, com uma área transversal ao comprimento dos drenos de 600 cm^2 . Para a colocação da brita foram abertas trincheiras com uma largura de 70 cm na superfície e 30 cm no fundo, e 85 cm de profundidade. Para efeitos de cálculo, a brita foi considerada como tendo uma porosidade de 50%, em média, e estimou-se que o dreno corresponde a um tubo de 50 mm de diâmetro. O volume

de água drenada, os níveis piezométricos, a cultura e o solo foram acompanhados como no tratamento anterior. (foto 3 e 4)

3.5. Dimensionamento e instalação do campo experimental.

Na área escolhida, de aproximadamente 5 ha, foi realizado um estudo detalhado com o objetivo de dimensionar e localizar o campo experimental. A metodologia utilizada é aqui detalhada, desde os estudos preliminares de coleta de dados até o campo experimental instalado.

Inicialmente o campo foi dimensionado para uma vida útil de aproximadamente 10 anos afim de servir de base outros trabalhos como também para campo de demonstração de um sistema de drenagem a ser utilizado pelo setor de Hidrologia Agrícola do Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Em segundo lugar, o campo visava das informações a dois trabalhos, incluindo este e um segundo com o objetivo de observar a lixiviação de nutrientes na água de drenagem, motivo pelo qual foram incluídos subparcelas adubadas e não adubadas.

3.5.1. Coleta de dados básicos.

Para o dimensionamento da área, foi realizado um levantamento plani-altimétrico juntamente com a caracterização do solo a partir dos quais foi localizado o campo experimental. Deste local foram coletados os dados para o cálculo do espaçamento entre drenos e instalação do experimento.

a. levantamento plani-altimétrico da área.

A figura 2 apresenta o levantamento plani-altimétrico da área total de aproximadamente 5 ha, na escala de 1:1000. O levantamento foi realizado pelo método de nivelamento geométrico transversal, tomando por base uma linha paralela a cerca interna a partir de um RN de cota 100 junto a estrada municipal de acesso à estação...

b. levantamento da camada impermeável.

Na figura 2 são anotados os poços para a determinação da camada impermeável. Os poços foram abertos com um trado de 8 cm de diâmetro. A camada impermeável foi identificada pelo tato e visualmente, baseado em determinações práticas anteriores.

c. levantamento do lençol freático.

Foi possível verificar o comportamento do lençol freático na área com a instalação de onze piezômetros. A figura 3 apresenta as linhas isopiezométrica e as linhas de fluxo.

d. determinação da condutividade hidráulica.

Foi utilizado o método de Auger Hole para solos homogêneos descrito por KESSLER E OOSTERBAAN (1973).

e. estimativa do coeficiente de drenagem.

O coeficiente de drenagem foi calculado utilizando-se a distribuição de Goodrich, descrito por CASTILHO e ORTIZ (s.d). Os dados de precipitações diárias para 10 anos (1967-1976) foram gerados a partir de dois anos de dados da "Estação Meteorológica do IPGA em Cachoerinha e de 10 anos de dados do Instituto Meteorológico do Ministério da Agricultura,

em Porto Alegre. O coeficiente de drenagem foi estimado ao redor de 30mm, considerando-se uma porosidade drenável de 4% em uma camada de solo de 1 m.

Baseado na observação do levantamento plani-altimétrico da área e do levantamento do lençol freático, o experimento foi locado na área acusada na figura 2. A média dos valores da profundidade da camada impermeável e da condutividade hidráulica obtidos na área escolhida que foram usados para o cálculo do espaçamento são os seguintes:

- profundidade da camada impermeável: 1,5 m
- condutividade hidráulica: 1,85 m/d

A profundidade do lençol freático foi arbitrada em 0,70 m, baseado no discutido por VAN'T WOUDE E HAGAN (1967) e a profundidade das valas e drenos foi arbitrada em 0,90 e 0,85 m, respectivamente, baseado na profundidade do lençol freático.

3.5.2. Estimativa do espaçamento entre drenos.

O espaçamento foi calculado, considerando o regime permanente com recarga.

Dois fórmulas serviram para as estimativas, a de Hooghoudt (equação 11) e a de Ernst (equação 14).

a. aplicação da equação de Hooghoudt (figura 4a)

vala aberta

dados:

$$q = 0,03 \text{ m/dia} \quad \Delta h = 0,1 \text{ m}$$

$$K = 1,85 \text{ m/dia} \quad D = 0,7 \text{ m}$$

$$u = b + 2y \sqrt{s^2 + 1} \quad , \text{ onde:}$$

$$b = 0,3 \text{ m} \quad y = 0,1 \text{ m}$$

$$s = 0,2/0,9 = 0,22.$$

$$u = 0,50 \text{ m}$$

$$d_e = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi S} \ln \frac{D}{u}}$$

$$d_e = \frac{0,7 S}{0,6 + S}$$

$$s^2 = \frac{8 K d_e \Delta h + 4 K \Delta h^2}{q}$$

$$s^2 = 49,33 d_e + 2,47$$

O espaçamento calculado foi de 5,8 m, com um valor de profundidade equivalente igual a 0,63 m, para valas abertas.

dreno fechado com brita

dados:

$$q = 0,03 \text{ m/dia} \quad \Delta h = 0,1 \text{ m}$$

$$K = 1,85 \text{ m/dia} \quad D = 0,7 \text{ m}$$

$$r = 0,025 \text{ m}$$

$$u = \pi r = 0,079 \text{ m}$$

$$d_e = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi S} \ln \frac{D}{u}} = \frac{0,7 S}{3,89 + S}$$

$$s^2 = \frac{8 K d_e \Delta h + 4 K \Delta h^2}{q}$$

$$s^2 = 49,33 d_e + 2,67$$

O espaçamento calculado foi de 4,5 m, com um valor da profundidade equivalente igual a 0,38 m, para drenos fechados com brita.

b. aplicação da equação de Ernst (figura 4b)

vala aberta

dados:

$$\begin{aligned} \Delta h &= 0,1 \text{ m} & y &= 0,1 \text{ m} \\ \alpha &= 0,03 \text{ m/dia} & D &= 0,7 \text{ m} \\ K &= 1,85 \text{ m/dia} & D_1 &= 0,75 \text{ m} \\ u &= 0,50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\Delta h = \alpha \frac{y + \Delta h}{K} + \alpha \frac{S^2}{8KD_1} + \frac{\alpha S}{4K} \ln \frac{D}{u}$$

assim:

$$0,1 = 0,003 + 0,003 S^2 + 0,005 S \cdot \ln 1,4$$

$$0,003 S^2 + 0,002 S - 0,097 = 0$$

resolvendo a equação obtemos $S = \underline{5,89 \text{ m}}$ para valas abertas.

drenos fechados com brita

dados:

$$\begin{aligned} \Delta h &= 0,1 \text{ m} & y &= 0,025 \text{ m} \\ \alpha &= 0,03 \text{ m} & D &= 0,7 \text{ m} \\ K &= 1,85 \text{ m/dia} & D_1 &= 0,7 \text{ m} \\ u &= 0,079 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\Delta h = \alpha \frac{y + h}{K} + \alpha \frac{S^2}{8KD_1} + \frac{\alpha S}{4K} \ln \frac{D}{u}$$

assim:

$$0,1 = 0,002 + 0,003 S^2 + 0,005 S \cdot \ln 8,8$$

$$0,003 s^2 + 0,011 s - 0,098 = 0$$

O espaçamento calculado foi de 4,3 m para dreno fechado.

Baseado nos cálculos realizados, os espaçamentos levados em campo foram:

para valas abertas: 5,0 m

para drenos fechados com brita: 4,5 m

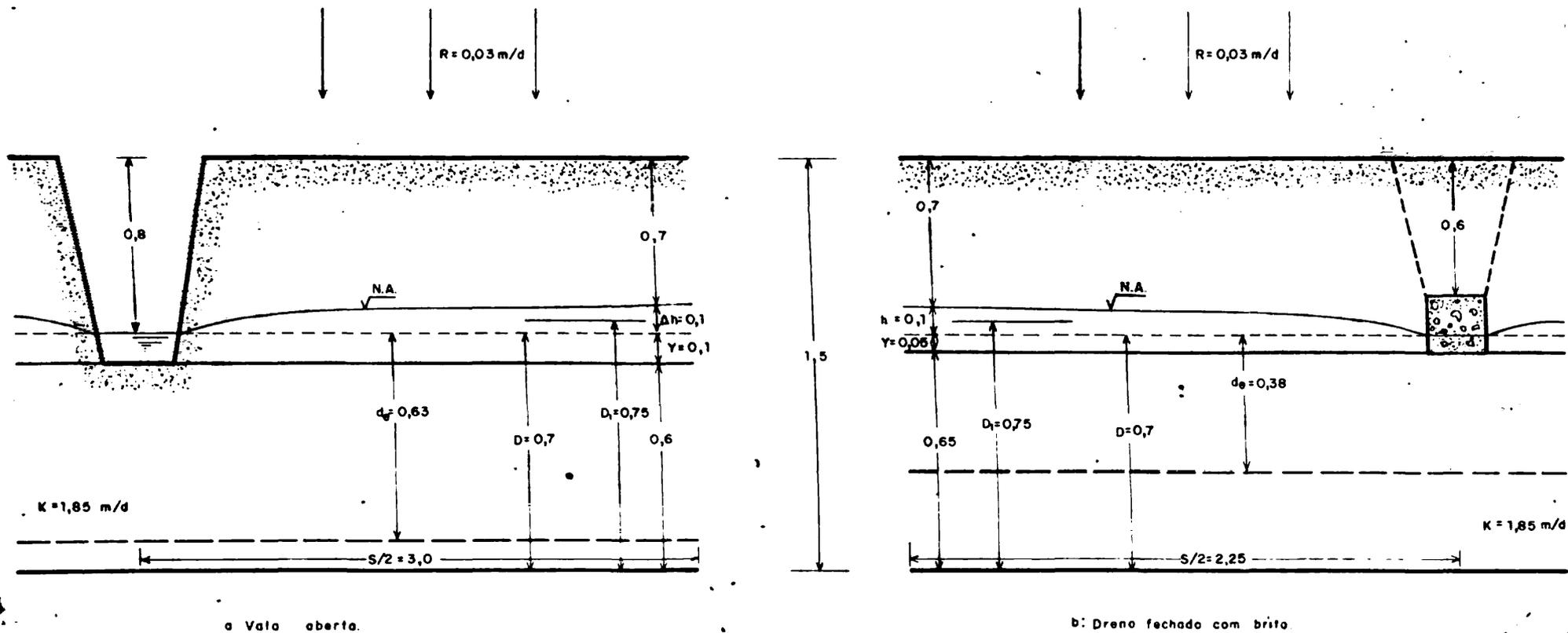
3.5.3. Dimensionamento do campo experimental.

Conhecidos os espaçamentos de 6,0 m para as valas abertas e de 4,5 m para os drenos, foi possível dimensionar o campo experimental. O dimensionamento foi realizado com base nas relações estabelecidas por DIELEMAN (1973) para experimentos em drenagem.

O experimento foi dividido em três blocos ou repetições. Cada bloco contém três parcelas distribuídas ao acaso, correspondentes aos três tratamentos diferentes: testemunha, vala aberta e dreno fechado com brita. As parcelas são subdivididas em duas subparcelas: adubada e não adubada.

O campo experimental foi projetado de tal forma que os blocos fossem colocados lado a lado, com um coletor longitudinal a jusante dos drenos. Desta forma a influência do coletor e dos aquíferos adjacentes é a mesma em todas as parcelas.

A largura do campo experimental foi uniformizada para todos os tratamentos e calculado em 30 m, sendo assim mantida a relação comprimento: espaçamento de 5:1 nas parcelas,



OBS.: TODAS AS COTAS EM METROS.

Fig. 4 : Aplicação das equações no cálculo do espaçamento entre drenos

com base no maior espaçamento. Duas áreas com 10 m de largura, acompanhando o comprimento do campo, a juzante e a montante foram dimensionadas para constituírem áreas de serviço.

As subparcelas, menor fração do campo experimental, são compostas de duas valas ou drenos efetivos (centrais) e duas valas ou drenos de bordadura, com mesmo espaçamento que os efetivos. Nas parcelas, conjunto de duas subparcelas, as valas ou drenos de bordadura em comum são unificadas. Desta forma as parcelas são compostas de quatro valas ou drenos efetivos, duas de bordadura lateral e uma vala ou dreno central, em um total de sete drenos.

As valas ou drenos efetivos definem a área útil da subparcela, onde o experimento foi acompanhado. A área útil de uma subparcela compreende a área entre os drenos efetivos (6 x 30 ou 4,5 x 30 m) e a área a direita e a esquerda desta, de mesmo comprimento e com uma largura igual a metade do espaçamento (3 x 30 e 2,25 x 30 m, cada). A área útil para o tratamento com valas abertas será de 360 m² (12 x 30m) e para drenos fechados de 270 m² (9 x 30 m). A testemunha tem uma área útil igual ao tratamento de menor área útil, ou seja, 270 m² (9 x 30 m), com a bordadura central igual a 1 m e as laterais iguais a dos tratamentos aí colocados.

O dreno coletor foi localizado longitudinalmente à juzante do campo experimental, a 10 m do fim das parcelas. Recebe água das valas ou drenos de bordadura e das caixas de medição de descarga, sendo ligado a estes por drenos auxiliares, e conduz a água ao coletor natural. O coletor foi dimen-

sionado de tal forma que o nível d'água permaneça abaixo do fundo das valas e dos drenos, evitando assim o afogamento destes.

O detalhamento do campo experimental é apresentado na figura 5.

3.5.4. Sistema de medidas.

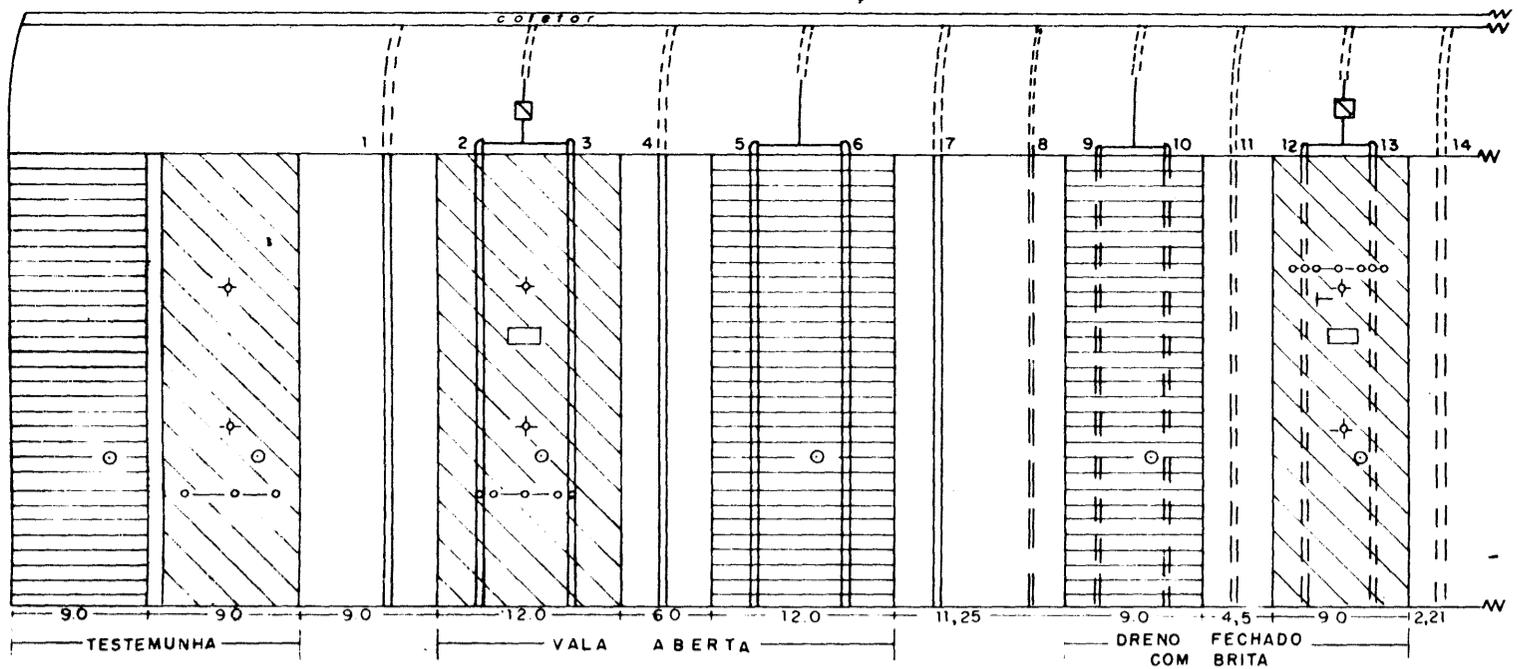
A água das valas e dos drenos efetivos de cada subparcela drenada é coletada no fim destes por simples estruturas de captação (detalhe da figura 6) e conduzida até a estrutura de medição de descarga por um tubo plástico.

A estrutura construída para medição de descarga é composta de uma caixa de partição e, junto a esta, uma caixa volumétrica.

A caixa de partição visa facilitar a medição da descarga dos drenos. É composta de uma estrutura de partição (adaptada a partir de uma caixa sinfonada para esgoto residencial), que compreende uma caixa com oito bocas, uma de entrada e sete de saída (com 40 e 30 mm de diâmetro, respectivamente). A entrada é ligada ao tubo que conduz água proveniente dos drenos efetivos. Da água que entra na caixa, uma fração é canalizada para a caixa volumétrica. A fração restante escoar livremente ao chão da caixa de partição, de onde é recolhida por um tubo fechado e conduzida ao dreno auxiliar e daí para o coletor.

Uma relação de 7:1 entre a água que entra e a que é ca-

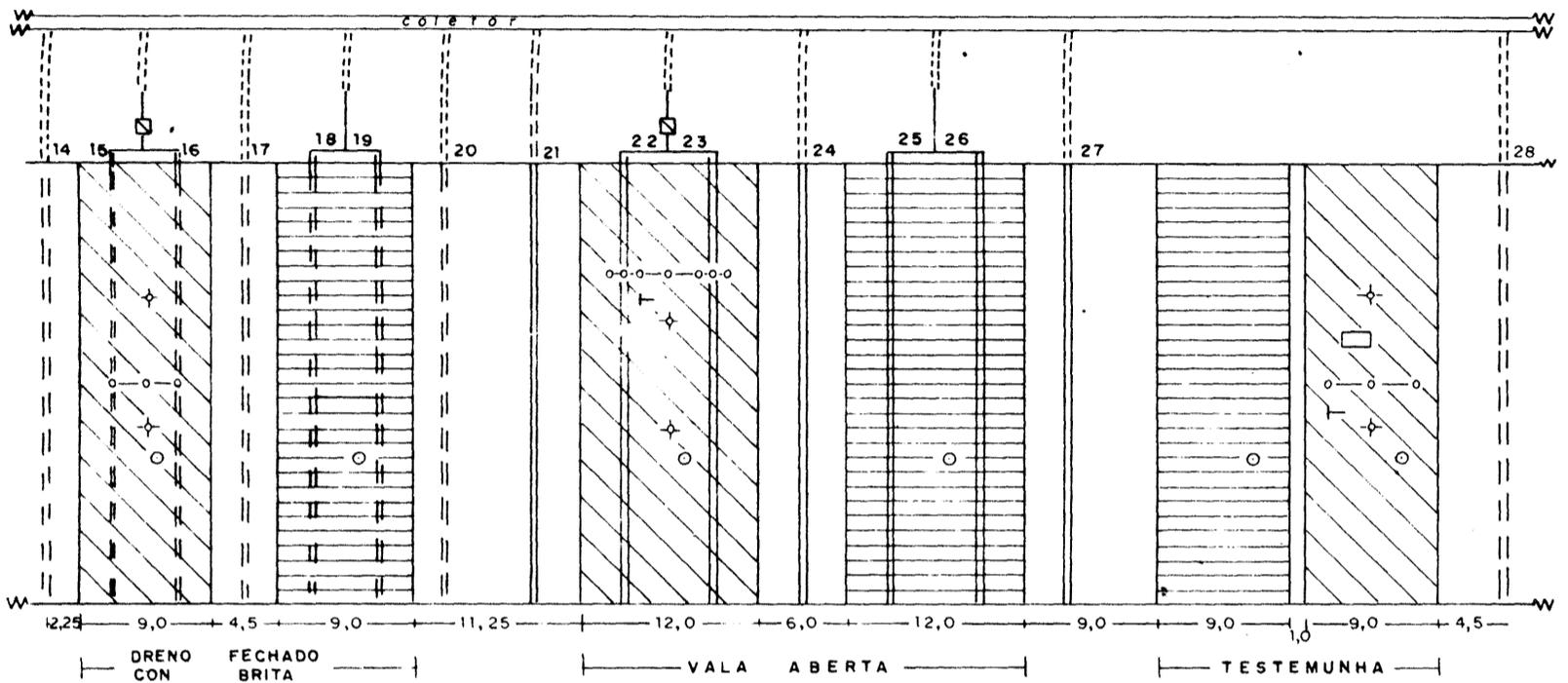
BLOCO III



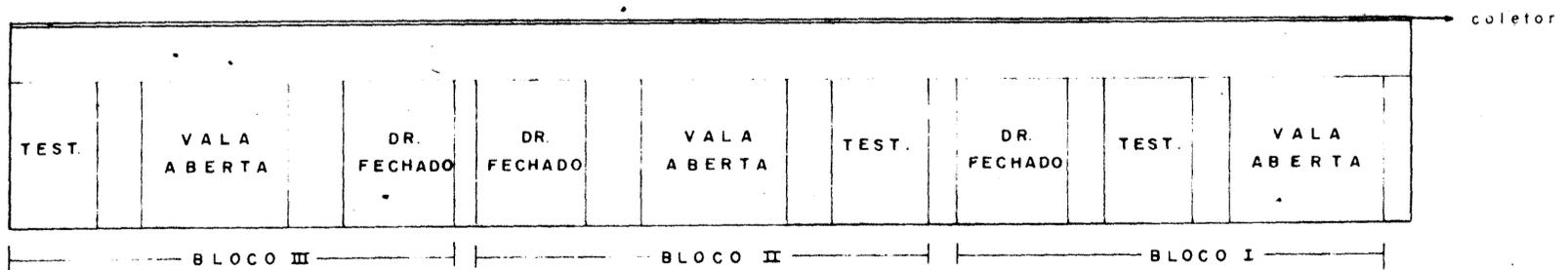
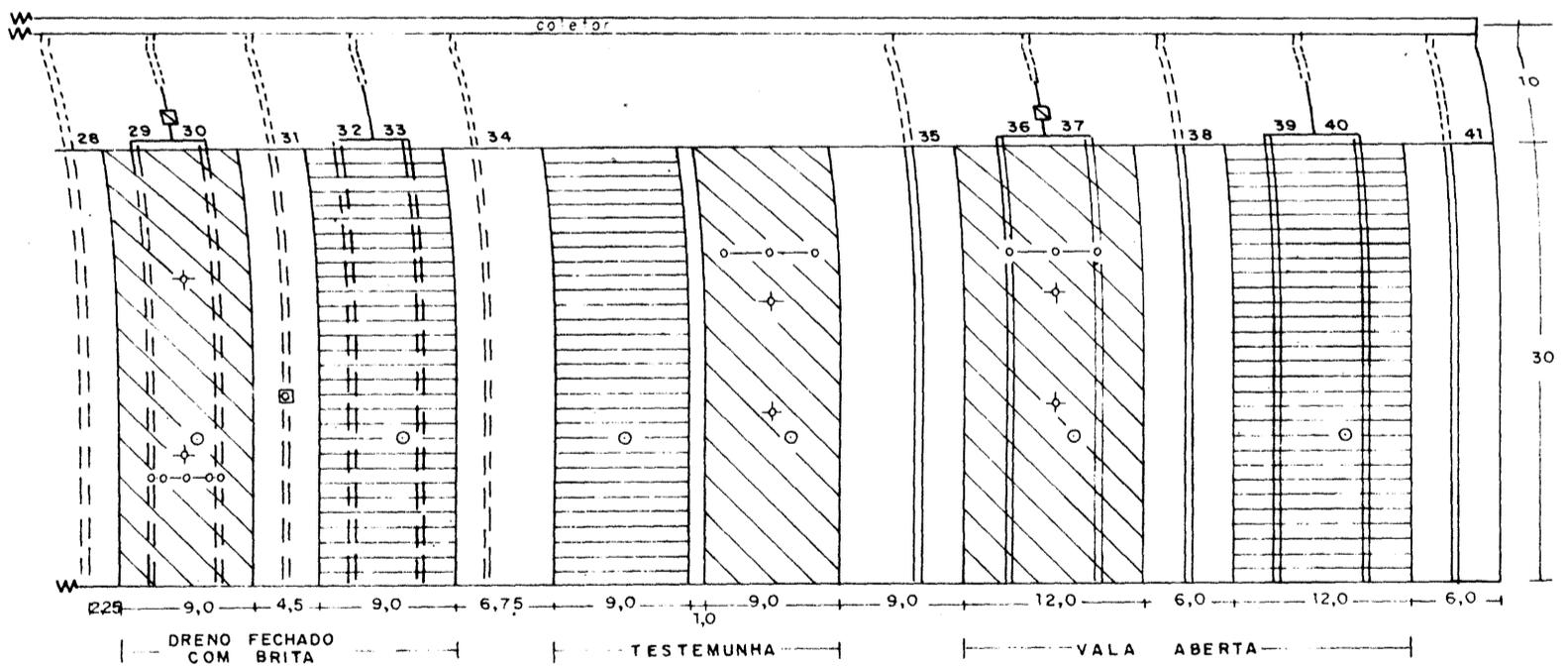
nº dreno

distancias

BLOCO II



BLOCO I



LEGENDA

- Sub. parcela adubada
- Drenos auxiliares
- Local det vel. Infiltração
- Sub. parcela não adubada
- Tubos enterrados
- Local det Cond Hidráulica
- Vala aberta
- Estrutura de medição de descarga
- Linha de piezômetros
- Dreno fechado com brita
- Geotermómetro
- Tque classe 'A'
- Trincheiras

Figura 5 Distribuição esquemática do campo experimental

nalizada à caixa volumétrica era esperada. Porém constatou-se ser difícil a obtenção desta relação, que varia de 3 a 10:1, assim, foi realizada uma calibração da relação de saída das caixas. Esta calibração é recomendada quando do uso destas estruturas.

A caixa de partição tem piso e teto de concreto e paredes de tijolo e está colocada junto à caixa volumétrica, de onde tem acesso para a manutenção.

A caixa volumétrica recebe e acumula a fração coletada da água de drenagem. Foi construída em um poço de 1,2 x 1,2 x 1,8 m de profundidade, com piso concretado no local e paredes de tijolos revestidos com cimento fino, a fim de minimizar a infiltração. Sua dimensão interna é de 1,0 x 1,0 x 1,8 m, elevando-se a 20 cm de superfície. No entanto seu volume útil é de aproximadamente 0,8 m³ já que a entrada de água coletada se dá em torno de 1,0 m do fundo da caixa. Uma tampa de lâmina de plástico com armação de madeira, facilmente removível, evita a entrada de água da chuva e a evaporação da água armazenada. O esgotamento da água era feito com auxílio de uma moto bomba.

Na figura 6 estão detalhadas as estruturas de medição de descarga.

b. linhas de piezômetros

As subparcelas adubadas, objeto do presente estudo, receberam linhas de piezômetros com três a sete unidades e em três posições diferentes, perpendiculares aos drenos, para observação do lençol freático.

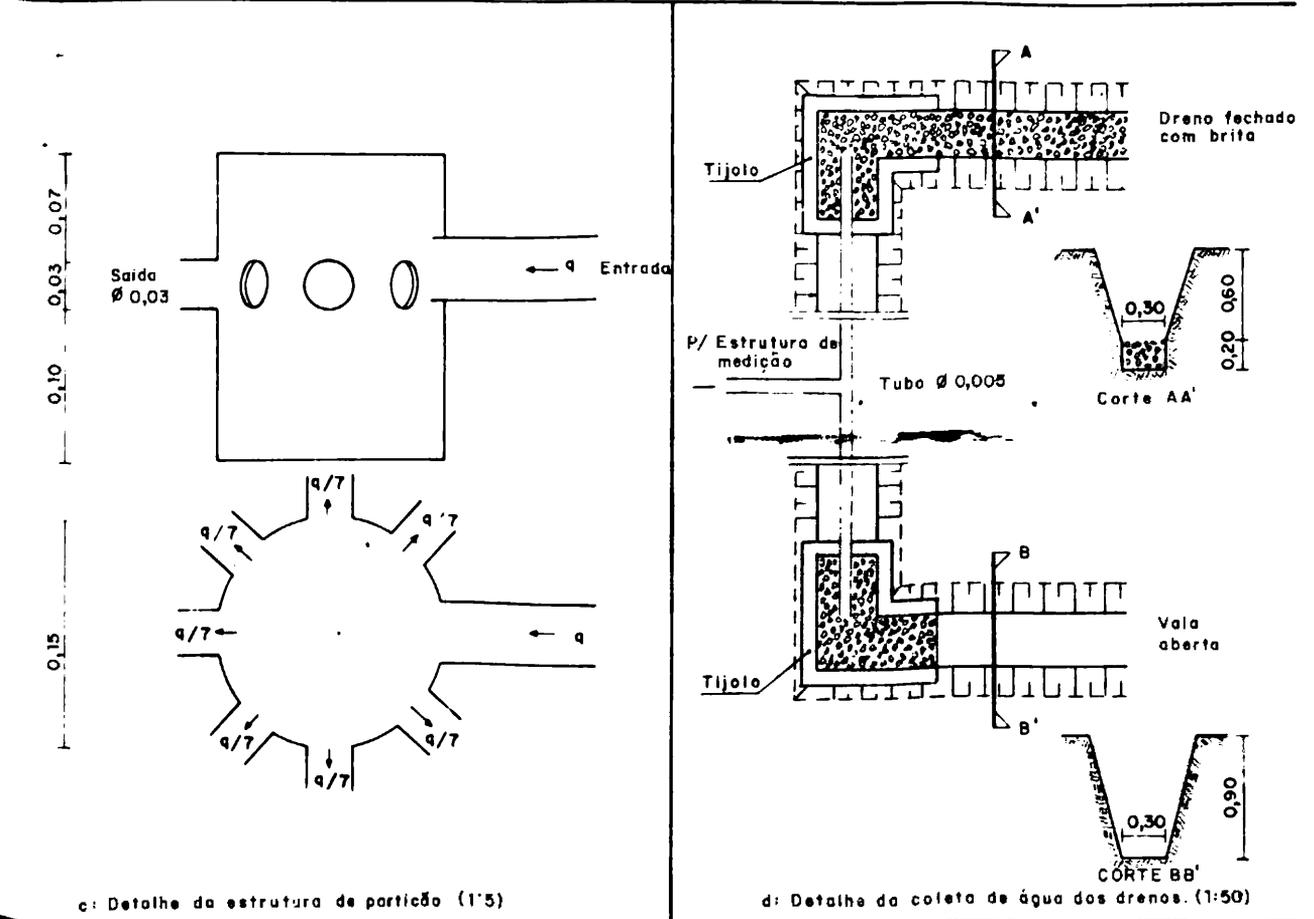
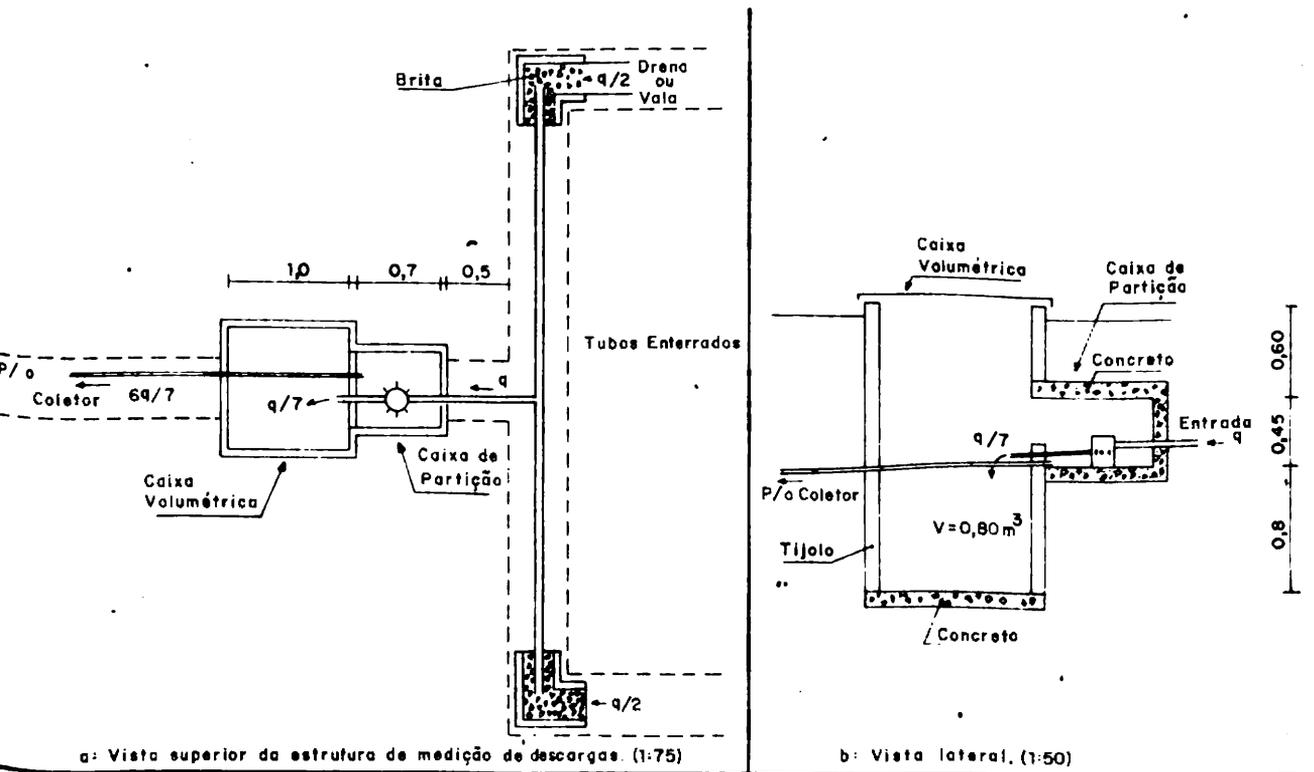


Figura 6. DETALHES DA ESTRUTURA DE MEDIÇÕES DA ÁGUA DRENADA
(cota em metros)

As linhas primeiramente foram localizadas ao acaso nas subparcelas, a 7,5 15,0 e 22,5 m do fim destas. Em seguida foi escolhido o número de piezômetros que compõem as linhas, também ao acaso. Linhas de três densidades diferentes foram utilizadas, sendo os piezômetros assim distribuídos:

- com três piezômetros: dois sobre as valas ou drenos e um no ponto médio entre estes.
- com cinco piezômetros: os três anteriores e mais dois a 0,75 ou 1,0 m (vala aberta ou dreno fechado) dos drenos para o centro.
- com sete piezômetros: acrescentou-se mais dois piezômetros a 0,75 e 1,0 m para fora dos drenos efetivos.

Na testemunha, foram instaladas linhas de três piezômetros nas posições já citadas. Os piezômetros foram colocados no centro da linha e a 1,5 m a direita e à esquerda deste ponto.

Os piezômetros eram constituídos por tubos de PVC rígido de 1,9 cm de diâmetro e 110 e 130 cm de comprimento, com perfurações de 2 mm de diâmetro próximo a extremidade inferior. A instalação foi feita abrindo-se pocos de 4 cm de diâmetro com trado, a profundidade de 80 - 100 cm. Os piezômetros foram assentados em areia fina e fixados com cimento junto à superfície do solo. Com auxílio de um nível automático foram obtidos as cotas da extremidade superior e a altura da superfície do solo.

A posição dos linhas de piezômetros é mostrado na figura 5.

3.6. Coleta e processamento de dados.

3.6.1. Coleta de dados.

a. descarga das valas e drenos.

As descargas das valas ou drenos efetivos foram medidas nas estruturas de medição. A coleta de dados foi realizada com o auxílio de uma sonda elétrica de contato, medindo o nível d'água em um tubo de PVC rígido no anterior da caixa (fot. 5).

As leituras foram feitas todos os dias às 17:00 horas. Novas leituras foram acrescentadas quando da ocorrência de chuvas ou irrigação, permanecendo assim até que a variação na altura fosse mínima.

Conhecida a diferença de altura d'água na caixa em um intervalo de tempo, e a superfície interna, calculou-se o volume acrescido no intervalo de tempo. O volume parcial foi multiplicado pela relação de saída da estrutura de partição obtendo-se assim o volume total drenado da água útil da subparcela no intervalo de tempo. A partir do volume total de água drenada, em m^3 , obteve-se dados de vazão normalizados, plotando-se em um papel decimal os tempos e os volumes acumu

lados, para cada período de estudo. A partir da curva obtida, nos tempos arbitrados, foi determinada a tangente, que tem como coeficiente angular a vazão, em m^3/dia .

Foram também obtidos valores de vazão em litros/hora e mm/dia a partir das leituras. Estas vazões referem-se a descarga média dos drenos desde a leitura anterior. Assim, as descargas foram normalizadas para o tempo médio entre as leituras.

Para os cálculos foi utilizado um programa em linguagem FORTRAN.

b. níveis piezométricos

O lençol freático entre os drenos foi observado pela medição de nível d'água nos 39 piezômetros instalados no campo experimental. (Foto 6). A leitura foi realizada com auxílio de uma sonda elétrica de contato, diariamente, às 17:00 horas, com acréscimo de leituras quando houve variações sensíveis dos níveis piezométricos.

Conhecidas as cotas de extremidade superior dos piezômetros, foi calculada a cota do lençol freático.

A carga hidráulica foi calculada a partir da diferença de altura do lençol freático nos drenos no ponto médio entre estes. O valor obtido para a carga hidráulica é a média do valor deste para os dois drenos efetivos em cada subparcela.

Igualmente, os cálculos foram realizados com auxílio de programa de computador.



Foto 1 - Parcelas sem drenagem



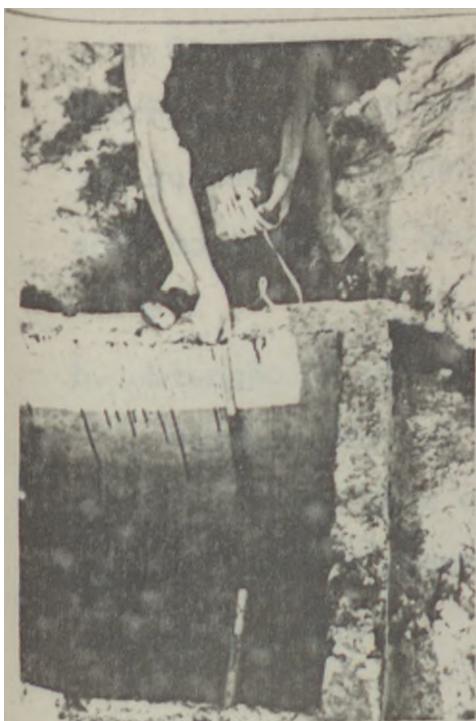
Foto 2 - Parcelas com valas abertas



3 - Trincheiras para instalação de drenos fechados com brita



Foto 4 - Trincheiras para instalação de drenos fechados com brita (detalhe)



Medição de descarga de valas abertas e drenos fechados



Foto - Leitura de piezômetros

3.6.2. Processamento de dados.

Os valores obtidos das descargas e da carga hidráulica para cada período e para cada subparcela foram estudadas com o objetivo de fornecerem informações quanto as características do solo.

a. normalização de dados.

Pela diferença de tempo t leitura havida entre a carga hidráulica e a descarga de drenos, duas curvas foram plotadas inicialmente em escala decimal e em seguida em seguida em papel semi-log.

Os valores de descarga média e da carga hidráulica foram inicialmente plotados contra o tempo em escala decimal, (figura 7a), os pontos sugerem uma curva exponencial e, por estas curvas pode ser escolhido o período de estudo, como também obtidos os valores para tempos arbitrados e comuns para as curvas $q - t$ e $\Delta h - t$.

Os valores escolhidos da descarga de drenos e da carga hidráulica são plotados em escala semi-logaritmica (figura 7b) quando vem a sugerir uma reta. As retas obtidas tiveram seus coeficientes angular e linear calculados por regressão linear.

b. obtenção de curvas

Normalizados os dados de descarga e de carga hidráulica foram plotadas duas curvas com o objetivo de realizar o estudo do fluxo e a determinação das características do solo.

- curva $q - \Delta h$

Foram plotados os valores da descarga de drenos (ordenadas) e da carga hidráulica (abscissas). A forma da curva obtidas a partir dos pontos foi estudada com base na equação 16 e foi calculado o valor do coeficiente angular por regressão linear ($q/\Delta h$). (figura 7c)

- curva $q/\Delta h - \Delta h$

A relação permite que, plotados valores de $q/\Delta h$ (ordenadas) e Δh (abscissas), obtenhamos os coeficientes angular e linear da reta que os pontos sugerem. (B e A, respectivamente). Ver figura 7d.

c. observação das características do solo

cl. baseado no regime permanente.

A partir da equação de Hooghoudt, foram calculados os valores da condutividade hidráulica (K) e da profundidade equivalente (d_e). Para o cálculo foi utilizado os coeficientes A e B calculados pela curva $q/\Delta h \times \Delta h$. As relações utilizadas foram:

$$K = \frac{B S^2}{4} \text{ (mm/d)} \text{ e } d_e = \frac{A S^2}{8 K} \text{ (mm)}$$

sendo os valores de S iguais a 6000 e 4500 mm respectivamente para vala aberta e dreno fechado.

c2. baseado no regime variável.

Para o cálculo da condutividade hidráulica e da porosidade drenável, inicialmente foi calculado o coeficiente angular da curva $q \times \Delta h$ ($q/\Delta h$). O valor da condutividade hidráulica foi obtido pela relação:

$$K = \frac{S^2}{2 \cdot q} \cdot q/\Delta h \cdot 1/d_e \text{ (valor de K em mm/d)}$$

sendo $S = 6000$ e 4500 e $d_e = 680$ e 380 mm respectivamente para valas abertas e drenos fechados com brita.

Para o cálculo da porosidade drenável foi utilizado o valor de K calculado e o valor médio do coeficiente angular das curvas $\log q \times t$ e $\log \Delta h \times t$, na seguinte relação:

$$Pd = \frac{q^2 K d_e}{2,3 S^2 \operatorname{tg} \alpha} \times 100 \quad (\text{valor de } Pd \text{ em } \%)$$

3.7. Implantação e acompanhamento da cultura teste.

Para o teste do experimento em termos de cultura foi escolhida a aveia (*A. sativa*, variedade coronado), pela sua maior suscetibilidade ao excesso de água e uma razoável resistência às pragas e doenças quando implantada nesta região.

O campo experimental foi arado e gradeado em meados do mês de abril de 1977, para assim receber os tratamentos. Em paralelo foi realizada a calagem e a adubação, incorporados com uma gradagem. Ambos, calagem e adubação, foram baseados nos resultados de análise de solo realizado pelo laboratório de rotina da Faculdade de Agronomia da UFRGS, como segue:

anos tra	prof. cm	RESULTADOS				RECOMENDAÇÕES				
		NH	P	K	M.O.	correção calcáreo	adubação manutenção			adub. cober
		PPM	PPM		%	ton/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	N kg/ha
01	0-15	4,8	7,6	25	1,9	3,2	10	100	120	40
02	15-30	5,0	7,2	20	0,9	1,5	10	100	120	40

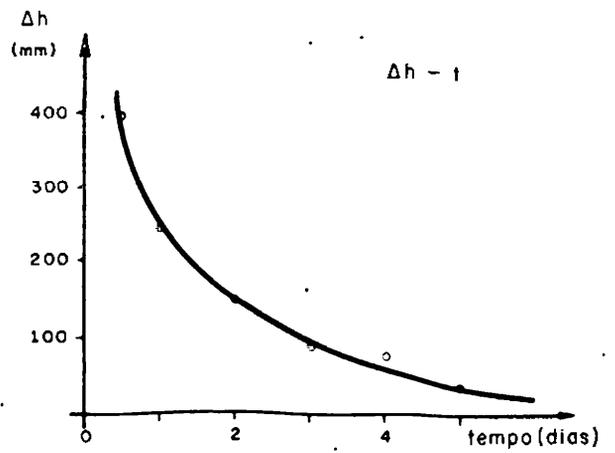
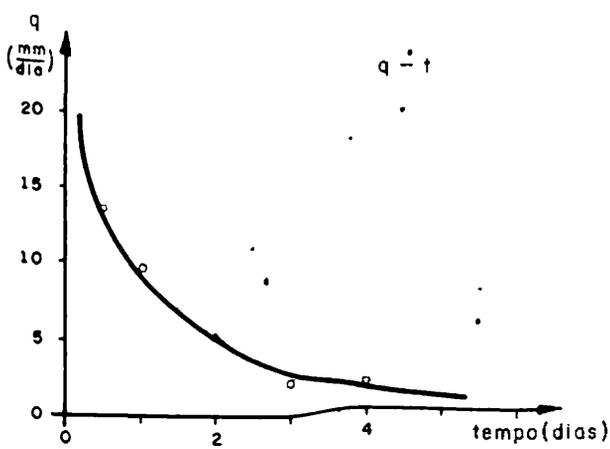


Figura 7a. curvas $q-t$ e $\Delta h-t$ em escala decimal.

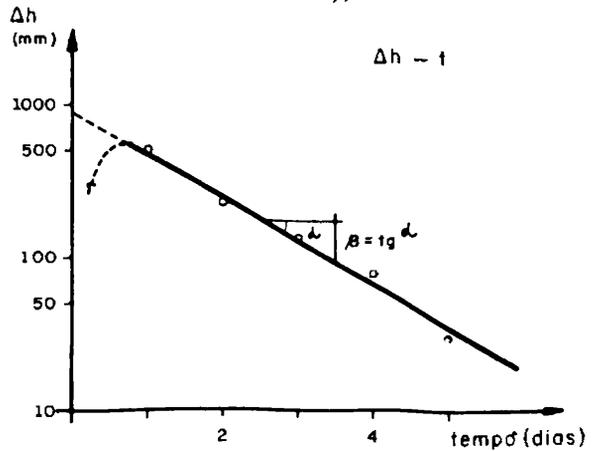
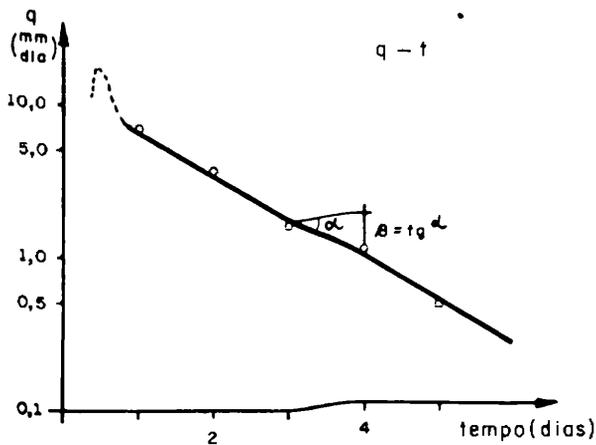


Figura 7b. curvas $q-t$ e $\Delta h-t$ em escala semi-log.

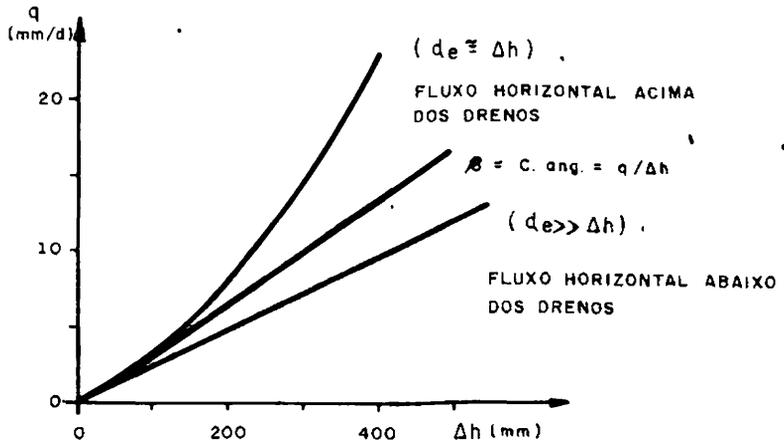


Figura 7c. curva $q - \Delta h$ para estudo do fluxo.

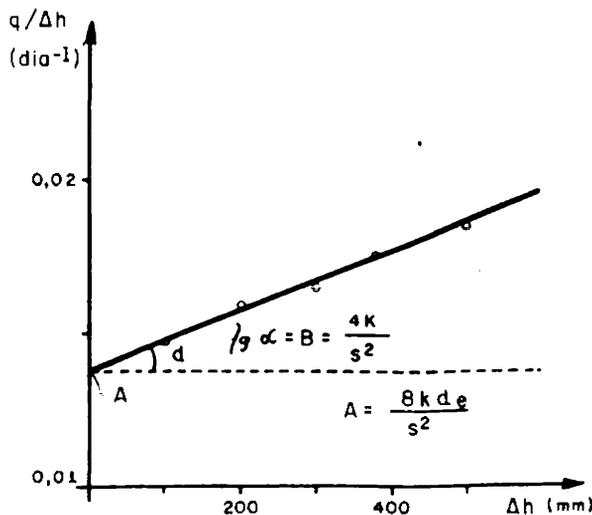


Figura 7d. curva $q/\Delta h$ para estudo das características do solo

FIGURA 7. Curvas para estudo da descarga de drenos e da carga hidráulica, (DIELEMAN, 1974)

Após nova gradagem, foi feita a semeadura à 8 de junho, ainda dentro do período recomendado para a região. Utilizou-se uma semeadeira - adubadeira mecânica e em seguida foi feita a uniformização da área com um arrastão.

A adubação de cobertura foi realizada sessente dias após o plantio, baseado na análise já referida.

Um controle de infestação de pulgão (*Toxoptera graminium*) integrado com o controle de ferrugem da folha (*Puccinia sp*) foi realizado a 31 de agosto com uma pulverização de Sumithion 50 E (0,11 l/ha) Dithane M - 45 (3kg/ha).

O acompanhamento da cultura foi feito com a determinação da matéria seca total por volume de solo. O volume limitado por um quadro de madeira de 20 x 20 cm e a 10 cm de profundidade, foi retirado com auxílio de uma pá de corte, em quatro amostragens por parcela, locadas ao acaso. O solo das amostras foi desestruturado e separada a massa verde e as raízes. Em laboratório, o material foi lavado e seco em estufa a 50 - 60 °C por 48 horas para, em seguida, ser pesado. Os resultados são transformados em Kg/ha a uma profundidade de 10 cm.

Os resultados foram analisados pelo teste de F (Gomes, 1973).

3.8. Estudo das propriedades físicas do solo.

Com a finalidade de determinar a influência dos sistemas de drenagem nas propriedades do solo foram realizadas as

análises de perfil do solo e da superfície.

Para a análise dos perfis do solo foram escolhidos três subparcelas, representando os três tratamentos. A escolha foi feita baseada no desempenho dos sistemas de drenagem quanto a descarga dos drenos e ao perfil piezométrico. Nos locais determinados foram abertas trincheiras de 0,70 x 1,20 x 1,0 m ou mais de profundidade (dependendo do início de camada impermeável) onde foram feitas as amostragens para algumas das determinações. No caso de determinações como condutividade hidráulica e velocidade de infiltração foram escolhidos os locais mais representativos. Os locais de determinação são apontados na figura 5.

As análises realizadas são descritas a seguir:

a. densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo (em g/cm³) foram feitas amostragens nos horizontes mais superficiais com três repetições com o auxílio de três cilindros com um volume médio de 99,20 cm³. No laboratório, as amostras foram secas a 105°C por 24 horas e pesadas. A densidade do solo é obtida através da relação:

$$D_s \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{massa solo seco (g)}}{\text{volume do cilindro (cm}^3\text{)}}$$

Foi também determinada a unidade gravimétrica das amostras. Dos dados obtidos foram calculados a média, desvio padrão e coeficiente de variação.

b. densidade de partículas

Para a determinação da densidade de partículas foram u-

sados picnômetros de 50 ml. O método usado foi o descrito por CAUDURO & RAMOS (1971). A densidade de partículas (D_p) é dada pela relação:

$$D_p = \frac{d_w (W_s)}{(W_w + W_s) - W_{sw}}$$

onde:

D_p = densidade de partículas, em g/cm^3 .

d_w = densidade d'água, em g/cm^3 , na temperatura observada observada

W_s = massa do solo seco, em g

W_w = massa do picnômetro com água (g)

W_{sw} = massa do picnômetro com solo e água (g)

Para cada horizonte foram realizadas três repetições sendo calculado as médias, desvio p. drão e o coeficiente de variação.

c. porosidade do solo

A porosidade é estimada a partir dos valores de densidade de de partículas e densidade do solo segundo a relação:

$$p\% = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \cdot 100$$

igualmente foram calculados as médias, desvio padrão e o coeficiente de variação.

d. análise textural dos perfis

A análise do tamanho das partículas do solo foi feito com o intuito de obter a classificação textural dos horizontes.

Foi utilizado o método de Bouyoucos ou Hidrômetro, des-

crito por CAUDURO & RAMOS (1971), tendo sido usado como dispersante uma solução de 50 g de hexametáfosfato de sódio em um litro de solução. As leituras foram realizadas a 40 seg e 6h e 52 min.³ sendo as frações obtidas pelas relações:

$$\% \text{ argila} = \frac{\text{leit. corrig. às 6h52m}}{\text{massa seca da amostra}} \times 100$$

$$\% \text{ silte} = \frac{\text{leit. corrig. aos 40 seg.} \times 100}{\text{massa seca da amostra}} - \% \text{ arg.}$$

$$\% \text{ areia} = 100 - (\% \text{ arg.} + \% \text{ silte})$$

A classificação textural foi obtida com auxílio do triângulo de classificação segundo a granulometria do solo.

e. curva pF.

Para obtenção dos pontos de tensão - unidade da curva pF foram coletadas amostras a campo em anéis volumétricos de 35 mm de diâmetro e 10 mm de altura, com três repetições por horizontes. As amostras foram levadas à laboratório e colocadas nas placas de pressão onde foram saturadas. Após 24 horas, as amostras foram submetidas a uma maior pressão. A operação foi repetida para pressões de 0,3; 1,0; 3,0; 9,0 e 15,0 atm, quando foi determinada a unidade gravimétrica final. A última operação foi a pesagem do anal, presente nas pesagens anteriores. A partir dos dados obtidos foi possível plotar a curva pF em papel decimel com a tensão (atm) na abscissa e a unidade gravimétrica (%) na ordenada.

f. velocidade de infiltração.

A velocidade de infiltração foi medida pelo sistema dos anéis concêntricos descritos por FORSYTHE (1975). Foi feita

uma determinação por subparcela, localizada na figura 5 com tempos de 105 e 120 minutos. Os dados de lâmina acumulada (cm) e tempo (min) foram relacionados com base na equação de Kostykov, como segue:

$$I = a t^b$$

onde:

I = lâmina infiltrada acumulada (cm)

t = tempo (min)

a, b = constantes

O cálculo dos parâmetros (a e b), obtidos a partir da linearização da equação de Kostykov, com também os parâmetros médios, desvio padrão e coeficiente de variação foi feito com auxílio do computador.

g. condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica após a utilização do campo experimental, foi medida pelo método de Auger Hole invertido, descrito por KESSLER E COSTERBAAM (1974). As determinações foram feitas em duas repetições por subparcela, nos locais apontados na figura 5. Os dados de tempo, em segundo, e de abaixamento d'água nos poços (em cm) são relacionados pela equação.

$$K = 1,15 r \frac{\log \{h(t_1) + r/2\} - \log \{h(t_n + r/2\}}{t_n - t_1}$$

onde:

K = condutividade hidráulica (cm/s.g)

r = raio do poço (cm)

h(t_i) = altura d'água no tempo i, a partir do fundo do poço.

t_i = tempo de leitura

O cálculo da condutividade hidráulica foi realizado com auxílio do computador.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas características hidrológicas particulares do ano de 1977, quando a distribuição das chuvas foi irregular em relação a normal, não foi possível a observação do comportamento do campo experimental sob condições de saturação permanente, assim, foram isolados cinco períodos de estudo, apresentados a seguir:

Período 1: de 17 a 22 de agosto de 1977.

Neste período o campo experimental recém instalado recebeu uma precipitação de 33 mm sobre o solo ainda saturado devido a precipitações anteriores.

O comportamento do lençol freático neste período, representado pelos perfis piezométricos são apresentados nas figuras 8.1, 8.2 e 8.3, respectivamente para os tratamentos 1 - testemunha sem drenagem, 2 - valas abertas e 3 - drenos fechados com brita. A resposta das valas e drenos e do lençol freático (carga hidráulica) a precipitação ocorrida no período podem ser observados com o auxílio das curvas de decaimento da descarga e da carga hidráulica (figura 9).

Período 2: de 24 a 29 de agosto de 1977.

Uma precipitação de baixa intensidade, totalizando 17,3 mm, encontrou o solo com um alto grau de umidade, possibilitando assim uma resposta significativa das valas e drenos e do lençol freático em todos os tratamentos.

Nas figuras 10.1, 10.2 e 10.3 são apresentados os per-

fis piezométricos no decorrer do período e, na figura 11, as curvas de decréscimo da descarga e da carga hidráulica no período.

Período 3: de 6 a 10 de setembro de 1977.

Após alguns dias sem chuvas, o experimento recebeu uma precipitação intensa, totalizando 44 mm em 72 horas. O comportamento do nível freático neste período pode ser observado nas figuras 12.1, 12.2 e 12.3 e o comportamento das descargas e da carga hidráulica na figura 13.

Período 4: de 25 a 30 de outubro de 1977.

A estiagem ocorrida nos meses de setembro e outubro causou uma queda no teor de umidade do solo das parcelas, inclusive naquelas sem drenagem.

Neste período foi realizada uma irrigação por aspersão com uma precipitação estimada de 4 mm/h. A operação foi realizada em três jornadas, sendo irrigado um bloco por jornada.

O total de água aplicado por bloco foi verificado por uma rede de pluviômetros distribuídos na área, e obedeceu a seguinte sequência de irrigações:

bloco I; dia 27.10; duração = 11 horas; dose = 37,9 mm.

bloco II; dia 25.10; duração = 12 horas; dose = 44,4 mm.

bloco III; dia 24.10; duração = 11 horas; dose = 27,9 mm.

Nas figuras 14.1, 14.2 e 14.3 são apresentados os perfis piezométricos no período, com os tempos anotados em horas a partir do fim da irrigação.

A figura 15 apresenta as curvas de decréscimo da descar

ga de valas e drenos e da carga hidráulica, para cada bloco.

Período 5: de 31 de outubro a 4 de novembro de 1977.

Com o solo ainda úmido pela aplicação de água no período anterior, ocorreu uma precipitação de alta intensidade, totalizando 44 mm. O comportamento do lençol freático neste período é apresentado nas figuras 16.1, 16.2 e 16.3 e as curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica, na figura 17.

4.1. Análise da carga hidráulica e da descarga de valas e drenos.

O comportamento do lençol freático e das curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica, pode ser discutida como segue:

Nos perfis piezométricos anteriormente apresentados, observamos que o lençol freático portou-se como o esperado, mantendo-se próximo da superfície no tratamento 1, sem drenagem e, elevando-se e baixando rapidamente nos tratamentos 2, com valas abertas e 3, com drenos fechados. Evidencia-se assim a necessidade da drenagem para os planossolos e a eficiência dos sistemas instalados.

No tratamento 1, sem drenagem, os perfis piezométricos apresentaram uma declividade do piezômetro P3 ao P1. Isto se deve a influência das valas e drenos de bordadura instalados.

Nos tratamentos com drenagem, observou-se uma melhor ele

vação do lençol freático nos tratamentos com valas abertas. Quando a elevação ocorrida nos tratamentos com drenagem é relacionada à precipitação havida e ao grau de umidade anterior, observa-se uma proporcionalidade entre estes, assim, a elevação vai ser maior quanto maior for o grau de umidade anterior e quanto maior a precipitação.

No tratamento 3, drenos fechados com brita, percebeu-se o funcionamento característico de drenos fechados com material de enchimento recente, ou seja, com a estrutura bastante diferenciada daquela do solo da parcela. Neste caso os drenos funcionaram como valas abertas, porém, com uma superfície de serviço de drenagem menor (entenda-se por superfície de serviço de drenagem àquela superfície transversal ao dreno por onde é escoada a água). Uma vez que estas parcelas funcionam como valas abertas, a água que se escoa superficialmente para os drenos fechados faz com que o nível aí se eleve, pois a quantidade de água escoada aos drenos é maior que a capacidade de escoamento dos mesmos. Com o alto nível d'água acima dos drenos há a infiltração para o solo da parcela, invertendo assim o fluxo.

Da análise das curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica (figuras 9, 11, 13, 15 e 17), percebemos que para uma mesma descarga de valas e drenos, diferentes valores da carga hidráulica são necessários, sendo maior no tratamento com valas abertas, provavelmente causado pelos diferentes espaçamentos entre os tratamentos e pelo funcionamento em comum entre os drenos fechados e as va

las abertas, já referido.

71

Dos perfis piezométricos no período 4 (figuras 14.2 e 14.3) observa-se que a elevação do lençol freático é devida mais à inversão do fluxo que ocorre nos drenos que a infiltração de água pela superfície.

Percebe-se que ocorreu uma redução na permeabilidade da superfície, fazendo com que o escoamento superficial fosse mais imediato e quantitativamente maior, havendo infiltração apenas da água que permaneceu estagnada sobre a superfície.

Na figura 15 observa-se que a carga hidráulica permanece quase sempre nula e que a descarga de valas e drenos grande logo após a irrigação, decrescendo rapidamente, o que vem a caracterizar a menor permeabilidade da superfície do solo.

Supõe-se que a redução observada na permeabilidade da superfície tenha sido causada pelo alto teor de umidade do solo durante a implantação da cultura-teste, o que só foi observado após o terceiro período de estudo.

No período 5 (figuras 16.1, 16.2 e 16.3), o lençol freático elevou-se mais que nos dois períodos anteriores. Conclui-se assim que houve maior permeabilidade da superfície devido ao maior grau de umidade desta antes da precipitação.

Na figura 17, observa-se uma declividade mais acentuada das curvas de decréscimo de descarga de valas e drenos que da carga hidráulica. Isto pode ser observado em todos os períodos de estudo, porém é mais facilmente percebido no período 5, por apresentar condições favoráveis à evapotranspiração.

ção. Assim, temos que o abaixamento do lençol freático é causado mais pela evapotranspiração que ao sistema de drenagem propriamente dito.

Das observações realizadas no comportamento do lençol freático, notou-se que se deve estar atento à disposição dos piezômetros nas parcelas, assim, valores mais confiáveis de carga hidráulica podem ser obtidos com a ampliação do número de piezômetros no ponto médio entre drenos e sobre estes.

4.2. Determinação dos parâmetros do solo a partir de dados de campo.

A observação dos parâmetros do solo foram feitos em três períodos do estudo, selecionados quanto a disposição de dados e apresentados a seguir:

- a. Período 1: de 17 a 22 de agosto de 1977, precip.: 38 mm.
- b. Período 2: de 24 a 28 de agosto de 1977, precip.: 17 mm.
- c. Período 3: de 31.out. a 4.nov. de 1977, precip.: 42 mm.

Para a determinação dos parâmetros foram calculados os coeficientes das curvas acessórias por regressão linear. As curvas e os coeficientes calculados são apresentados nas figuras 13 a 26, para os três períodos.

4.2.1. Estudo baseado no regime permanente.

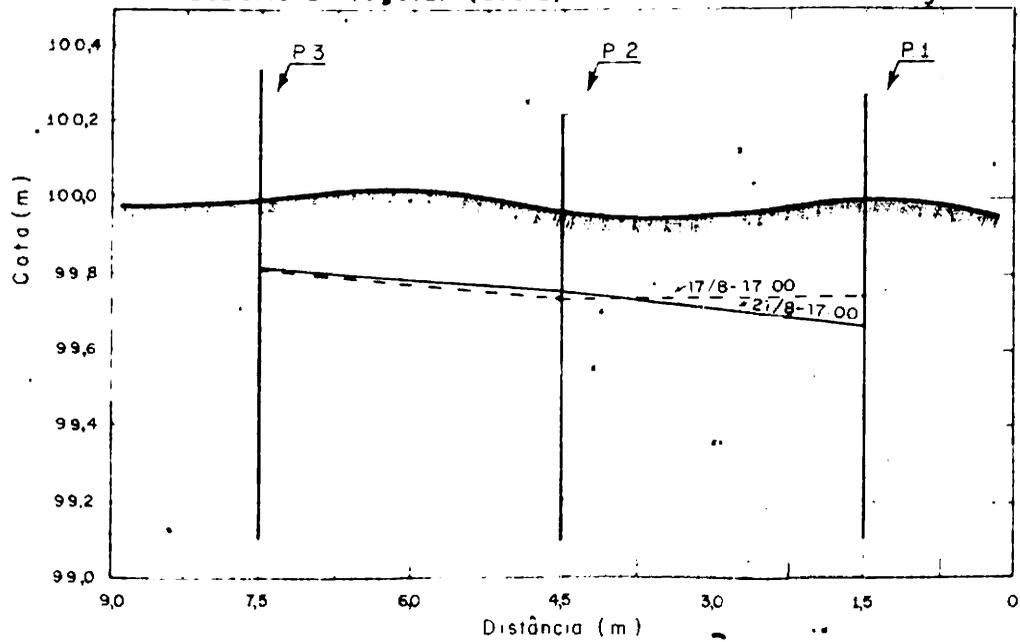
No regime permanente, o estudo baseou-se nas curvas $q/\Delta h \times \Delta h$ de onde foram calculados a condutividade hidráulica

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

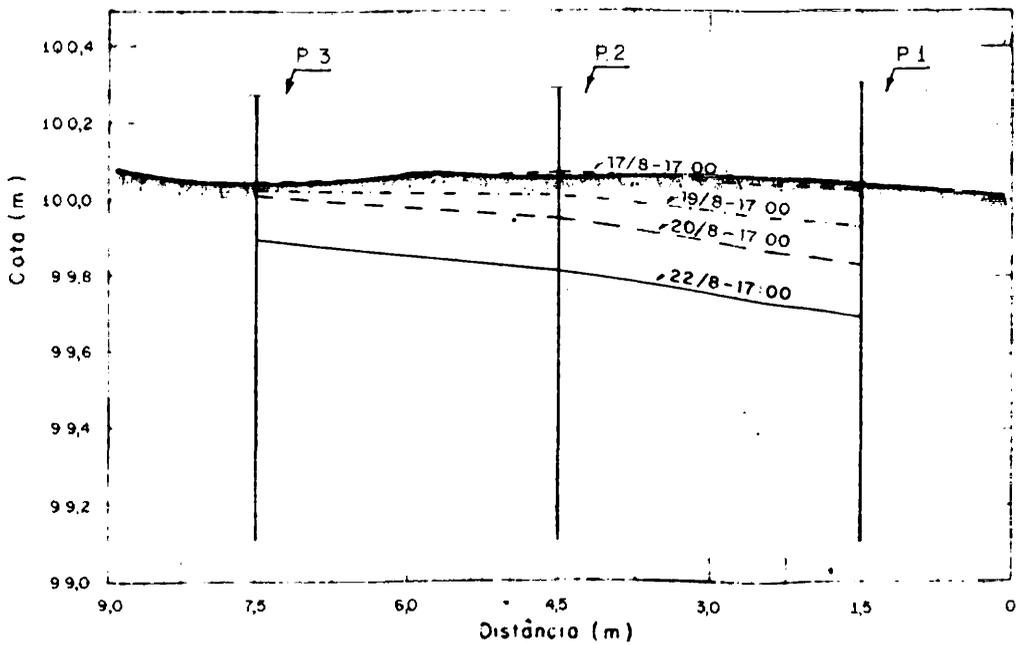
Tratamento 1: Testemunha sem drenagem

Área das parcelas 270 m²

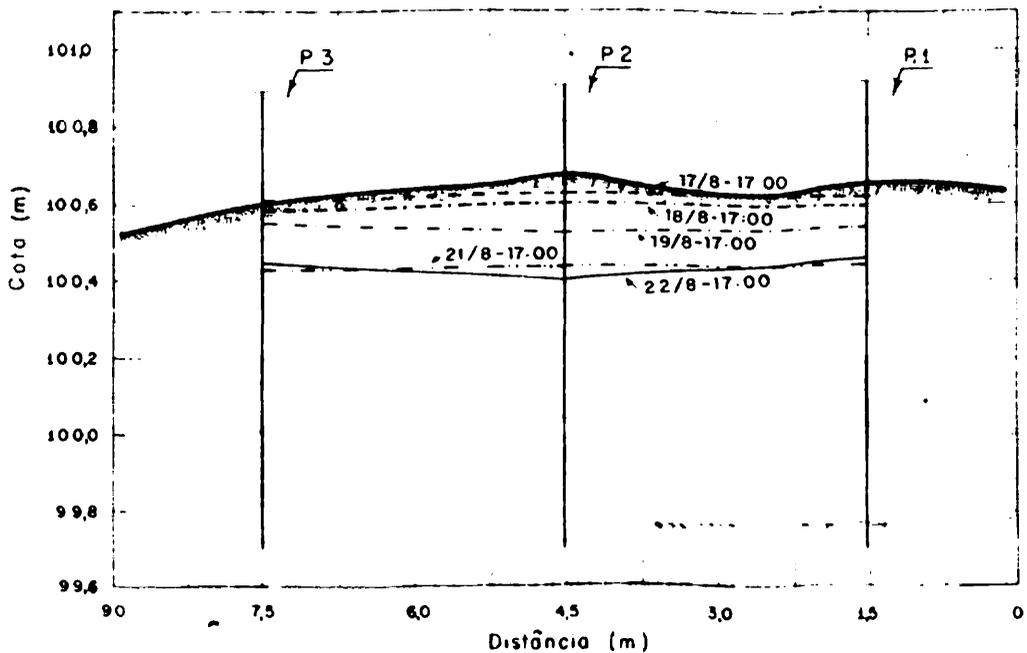
Cobertura vegetal (aveia) Período 1: 17 a 22 de Agosto 77



BLOCO I



BLOCO II



BLOCO III

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

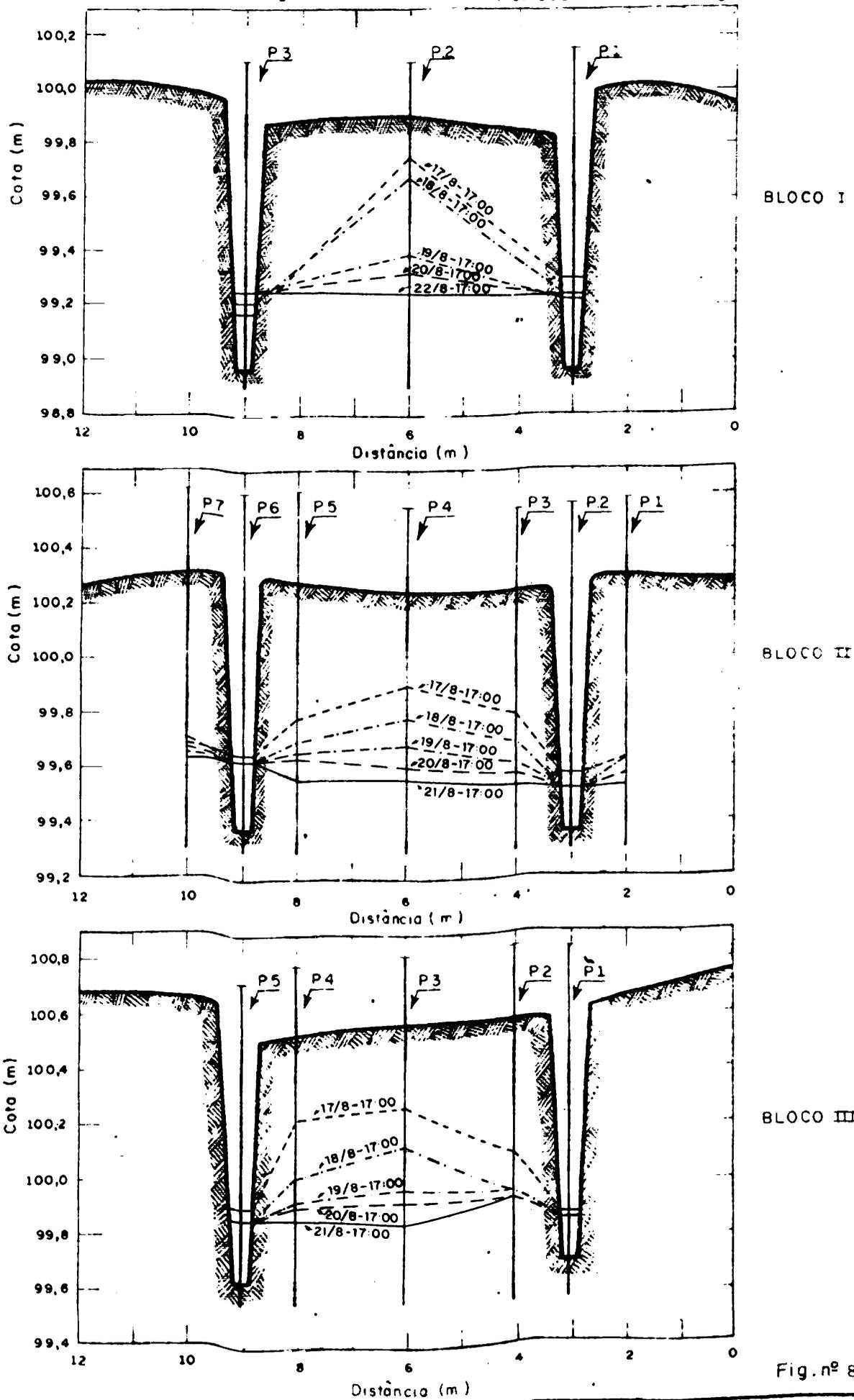
Tratamento 2, Drenagem com valas abertas

Área das parcelas: 360 m²

Espacamento entre drenos: 6 m

Cobertura vegetal: A. ativa

Período 1: 17 a 22 de Agosto 77



— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 3, Drenagem com brita drenos fechados

Área das parcelas: 270 m²

Espaçamento entre drenos 4,5 m

Cobertura vegetal: A sativa

Período I: 17 a 22 de agosto.77

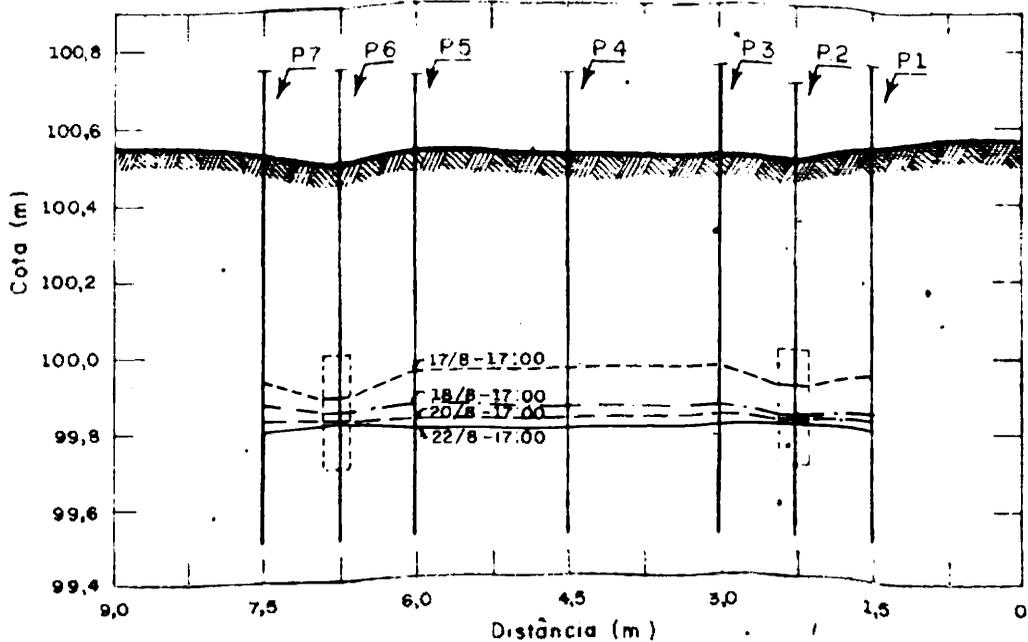
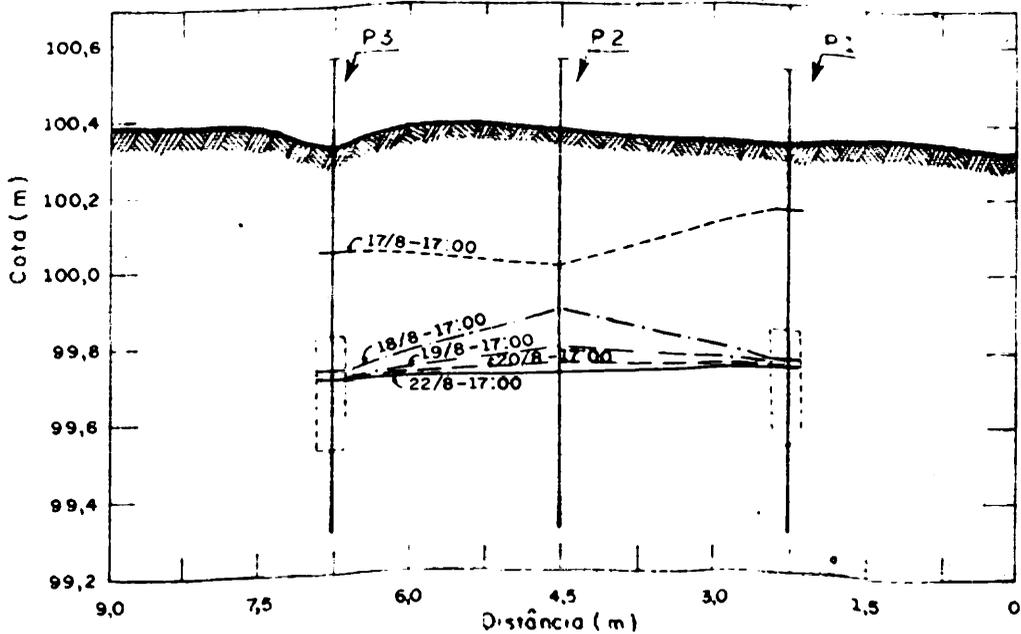
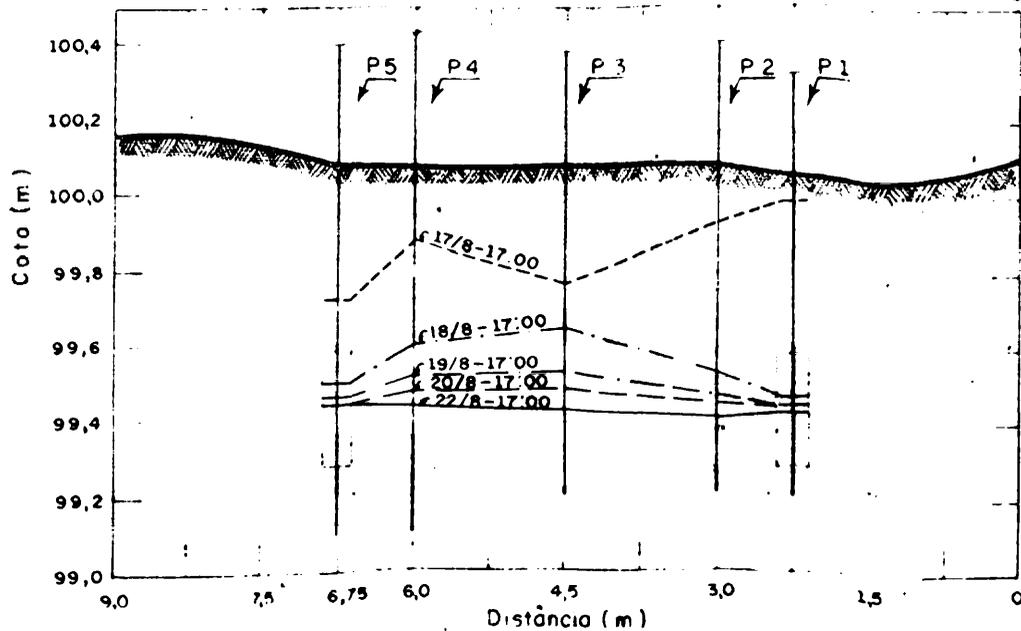


Fig. nº 8.3

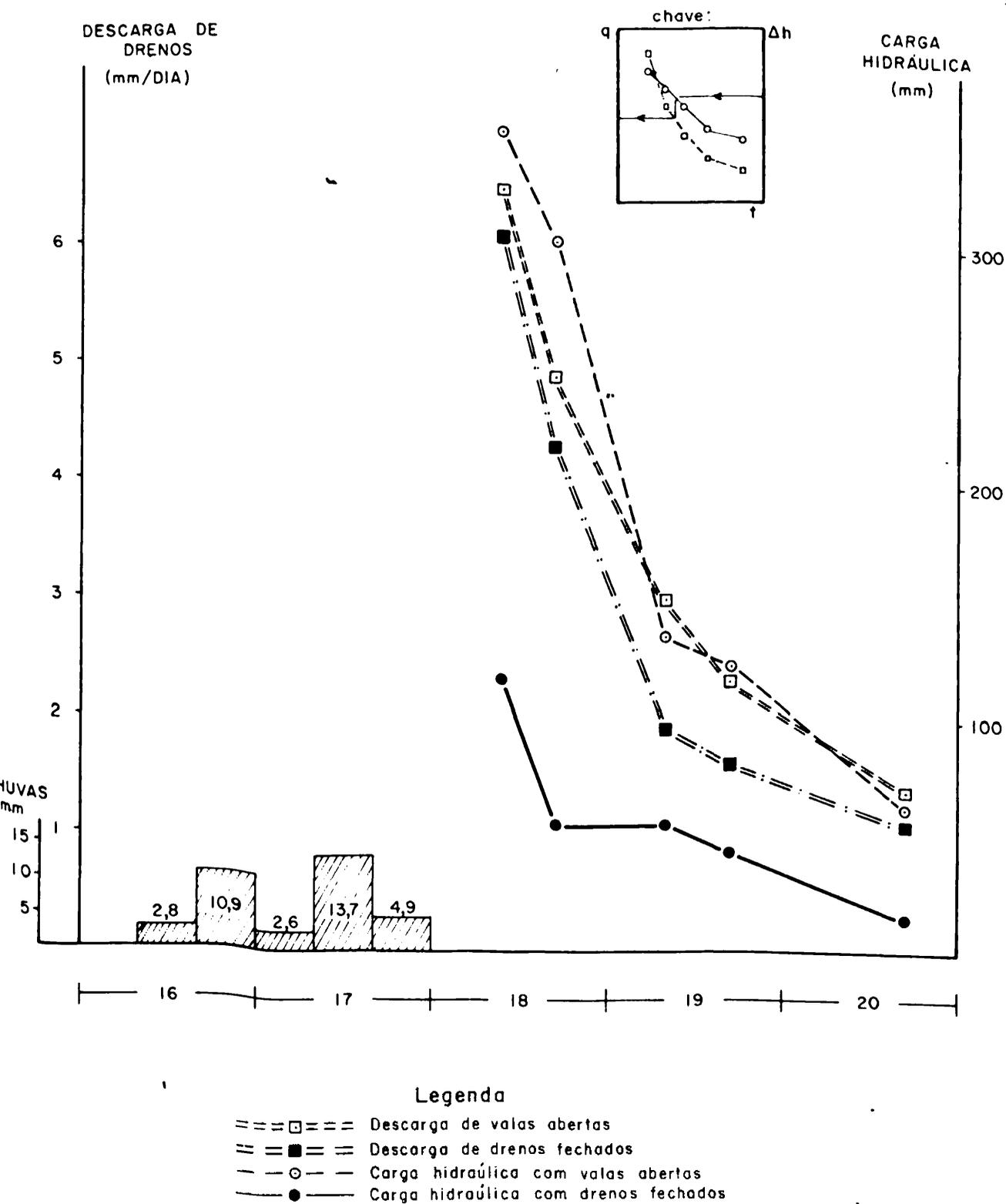


Fig. 9

Curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica após uma precipitação — Período 1 - 17 a 22 de agosto de 1977.

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 1. Testemunha sem drenagem

Área das parcelas 270 m²

Cobertura vegetal (aveia)

Período 2: 24 a 28 de agosto.77

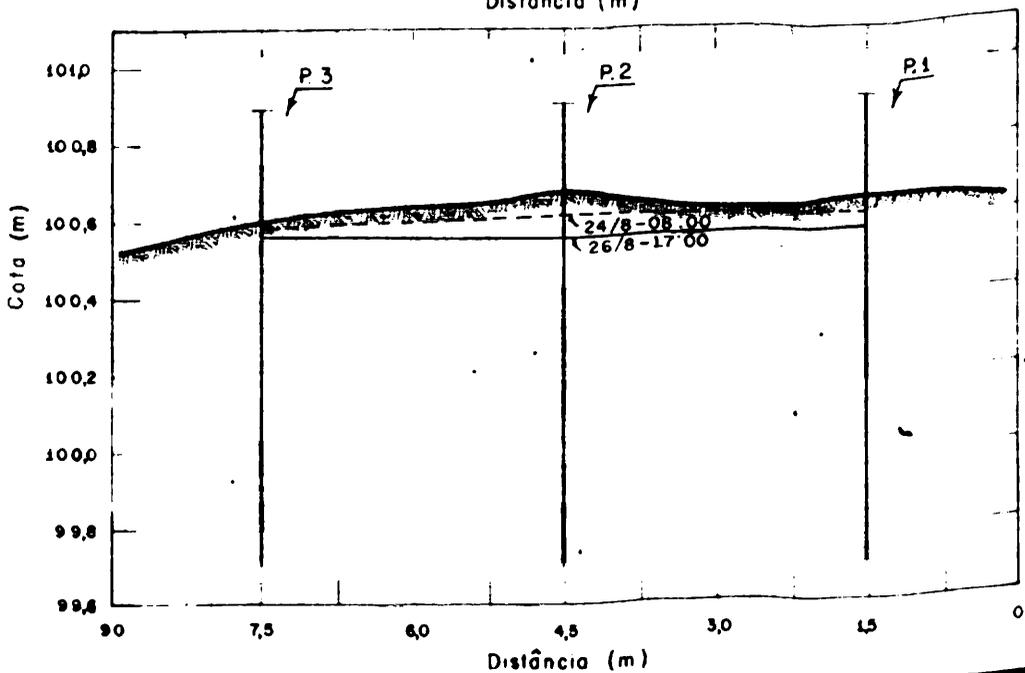
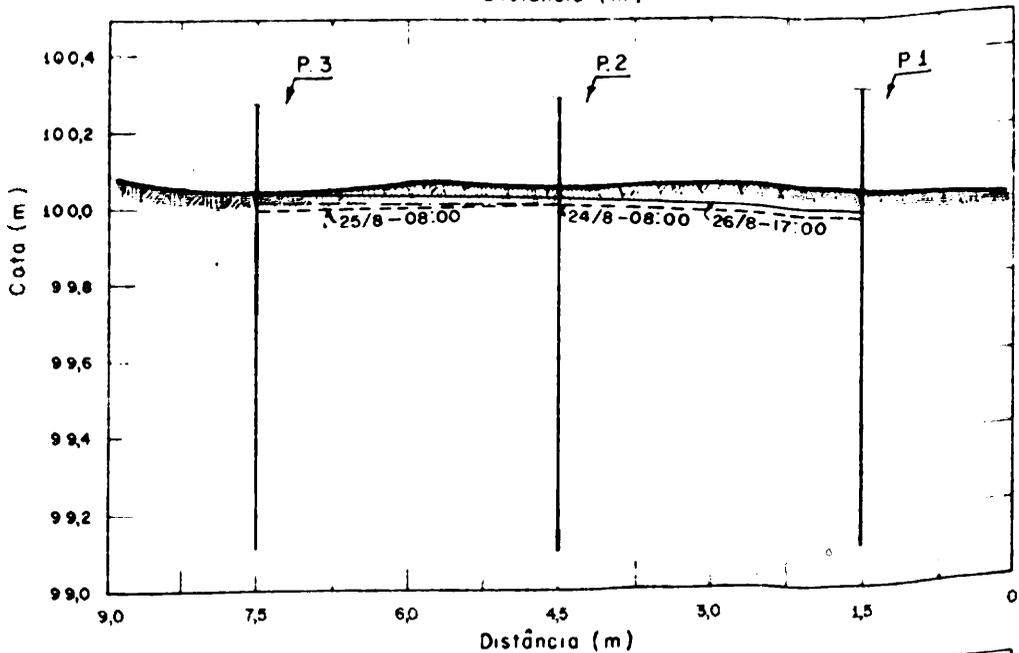
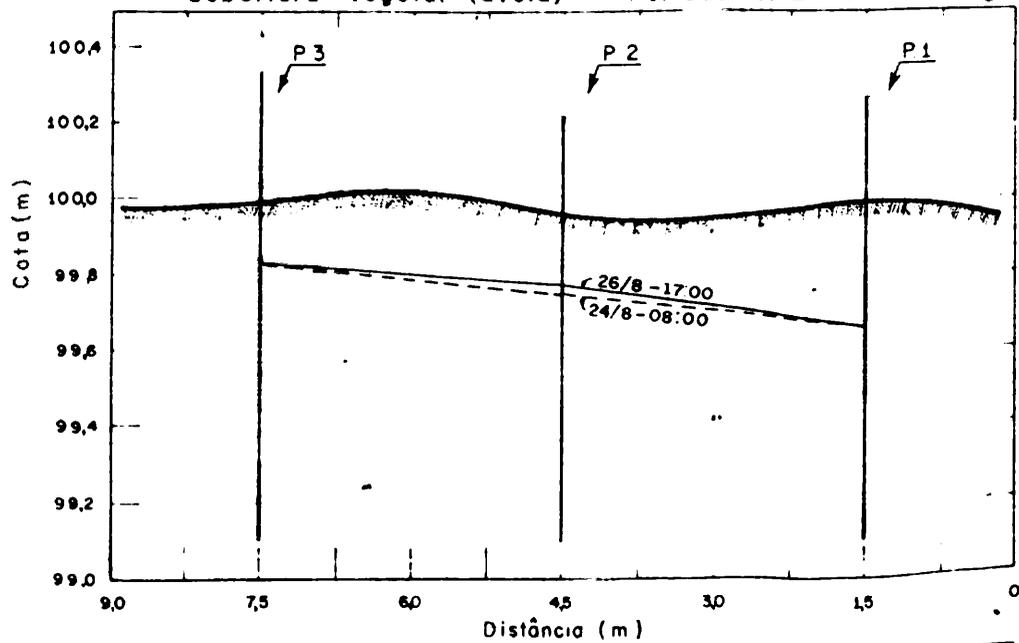


Fig. nº 10.1

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

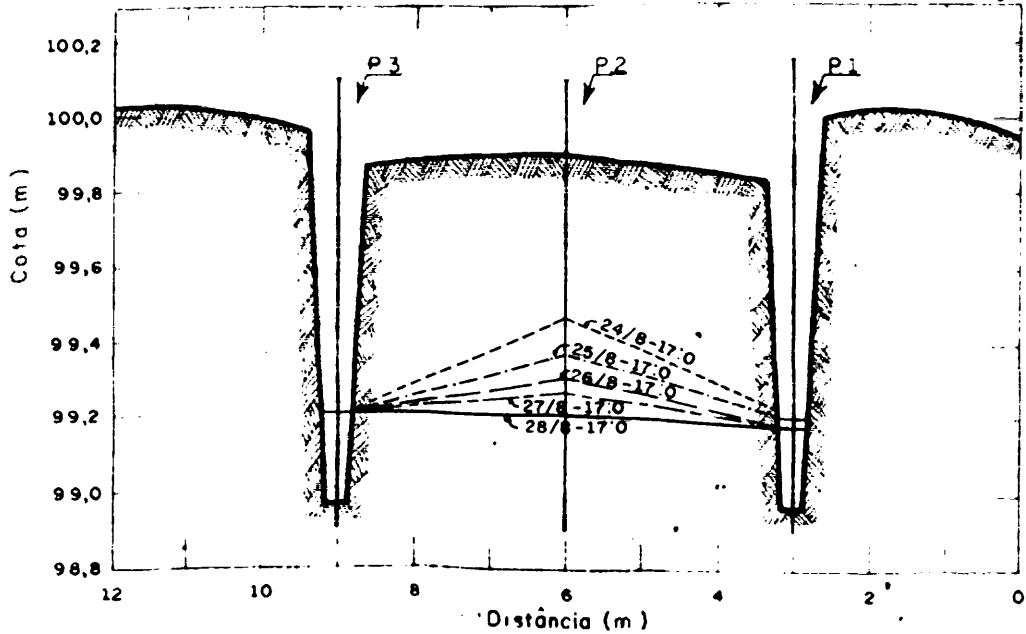
Tratamento 2, Drenagem com valas abertas

Área das parcelas: 360 m²

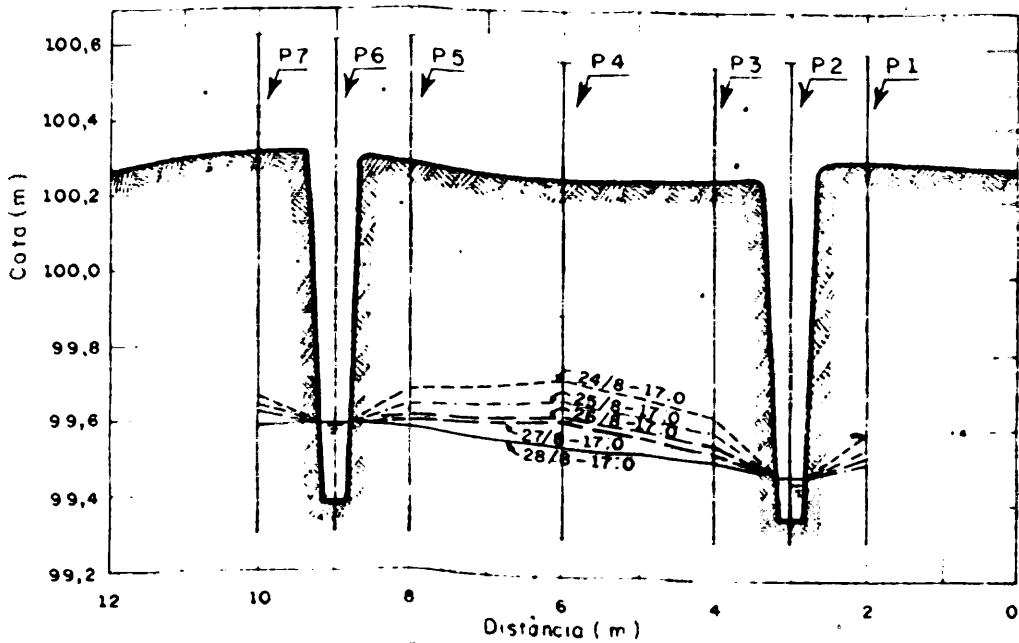
Espacamento entre drenos: 6 m

Cobertura vegetal: A. sativa

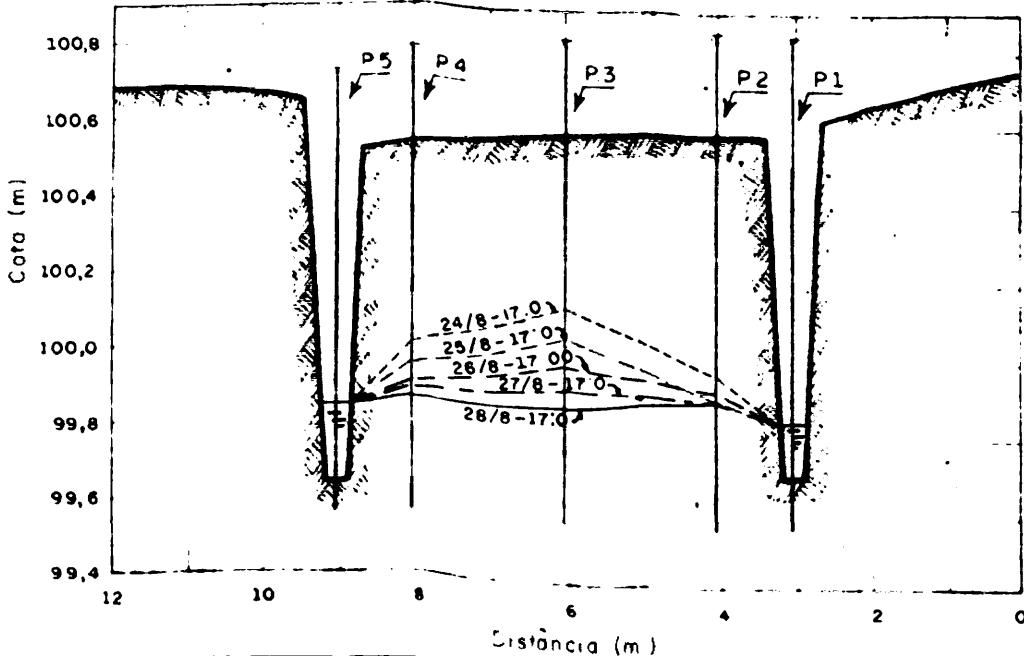
Período 2: 24 a 28 de agosto. 77



BLOCO I



BLOCO II



BLOCO III

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 3, Drenagem com brita drenos fechados

Área das parcelas: 270 m²

Espaçamento entre drenos: 4,5 m

Cobertura vegetal: A. sativa

Período 2: 24 a 28 de agosto 77

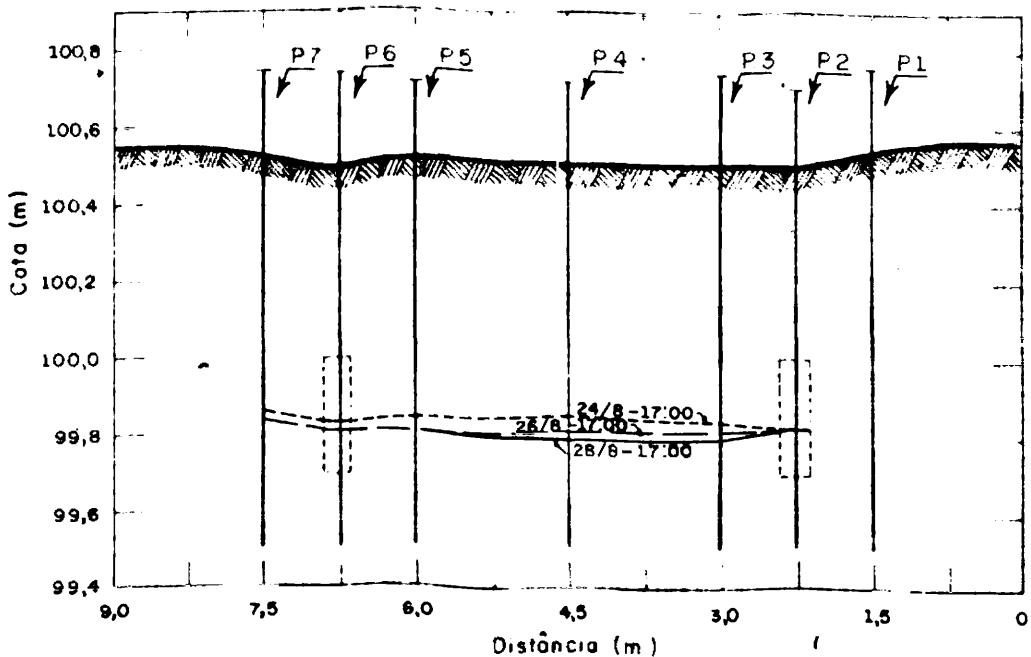
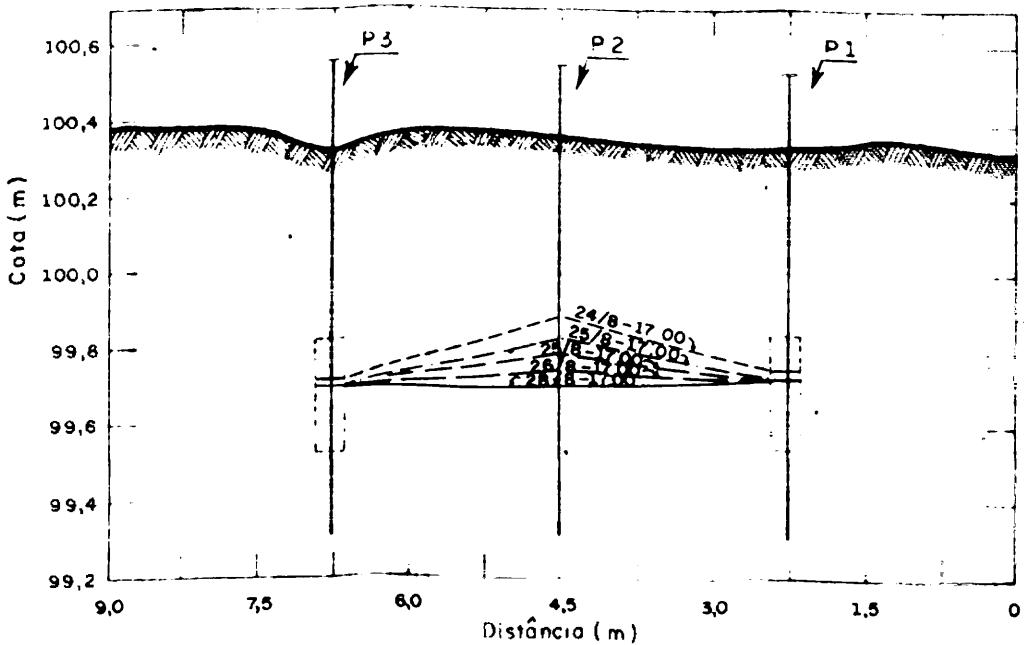
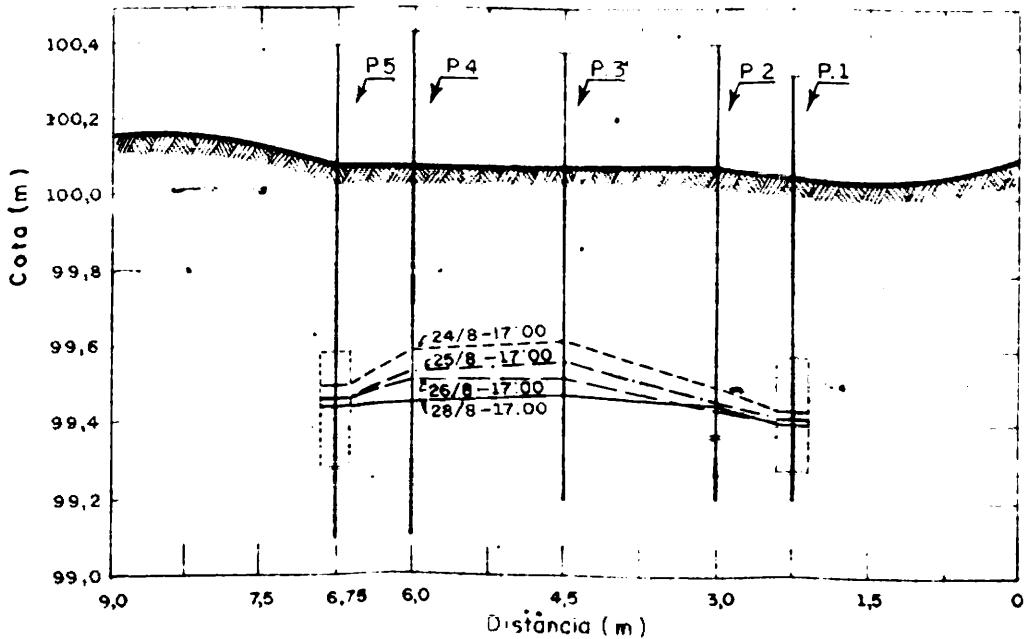
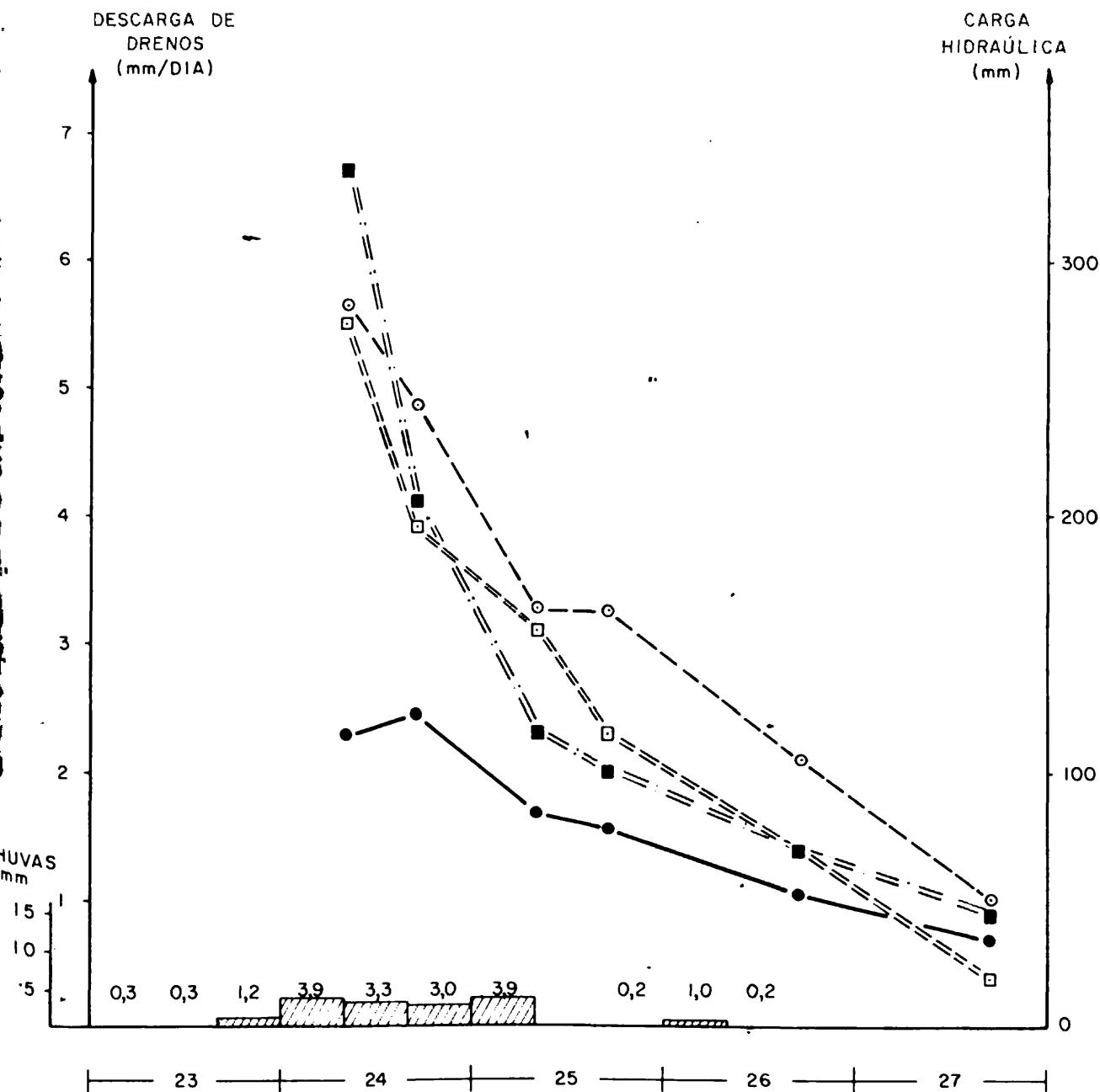


Fig. nº 10.3



Legenda

- == □ == Descarga de valas abertas
- == ■ == Descarga de drenos fechados
- - ○ - - Carga hidráulica com valas abertas
- ● — Carga hidráulica com drenos fechados

Fig. 11

Curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica após uma precipitação — Período 2 - 24 a 28 de agosto de 1977.

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 1. Testemunha sem drenagem

Área das parcelas 270 m²

Cobertura vegetal (aveia) - Período 3: 6 a 10 set. 1977

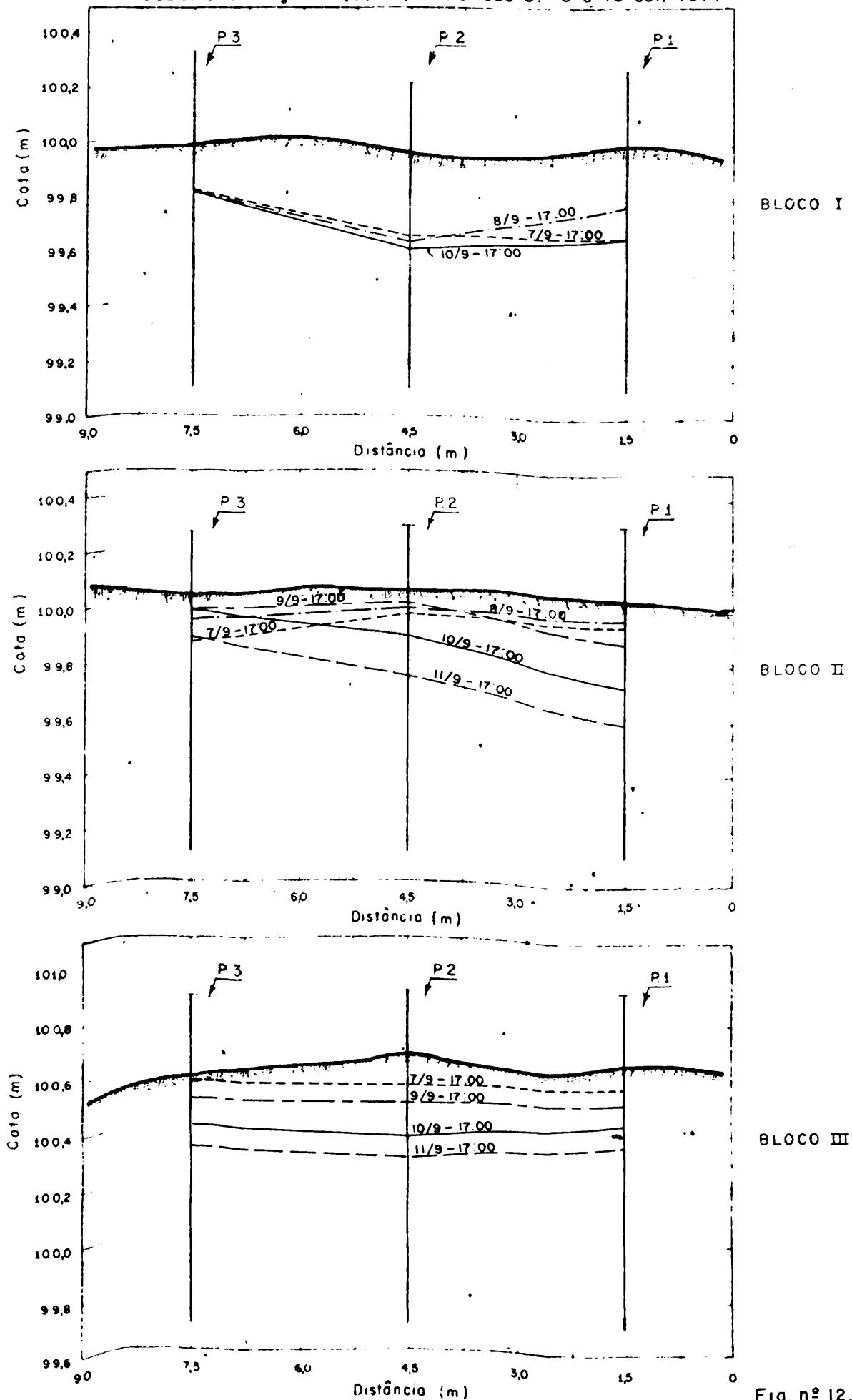


Fig. nº 12.1

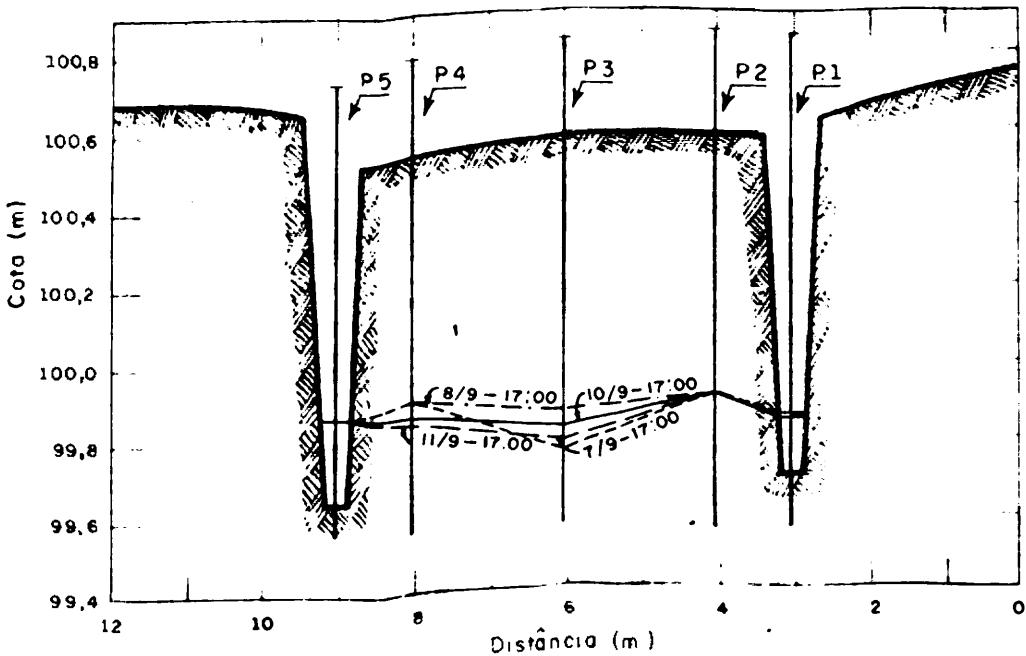
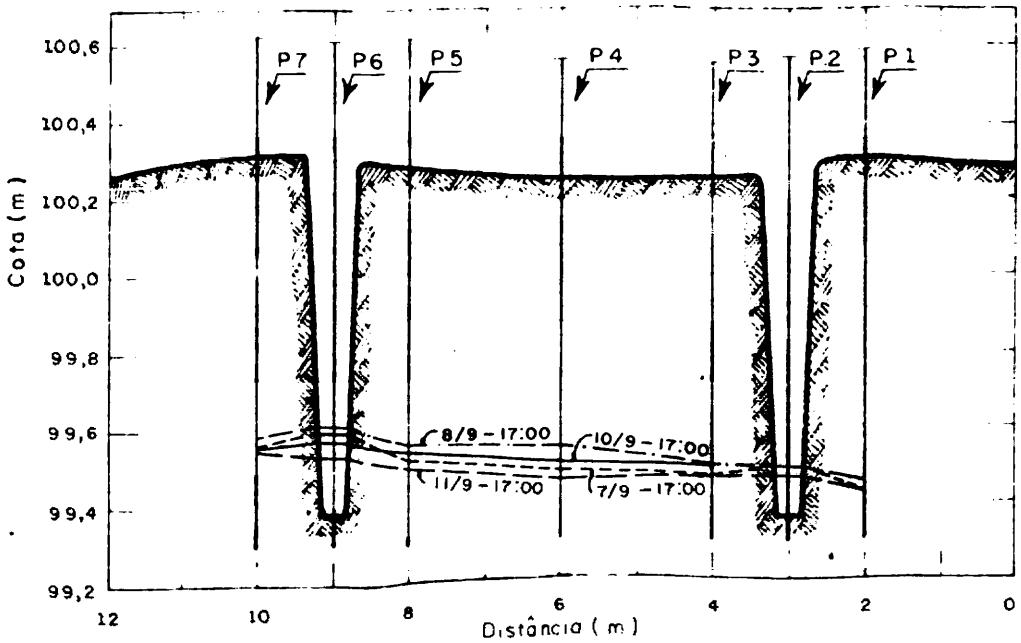
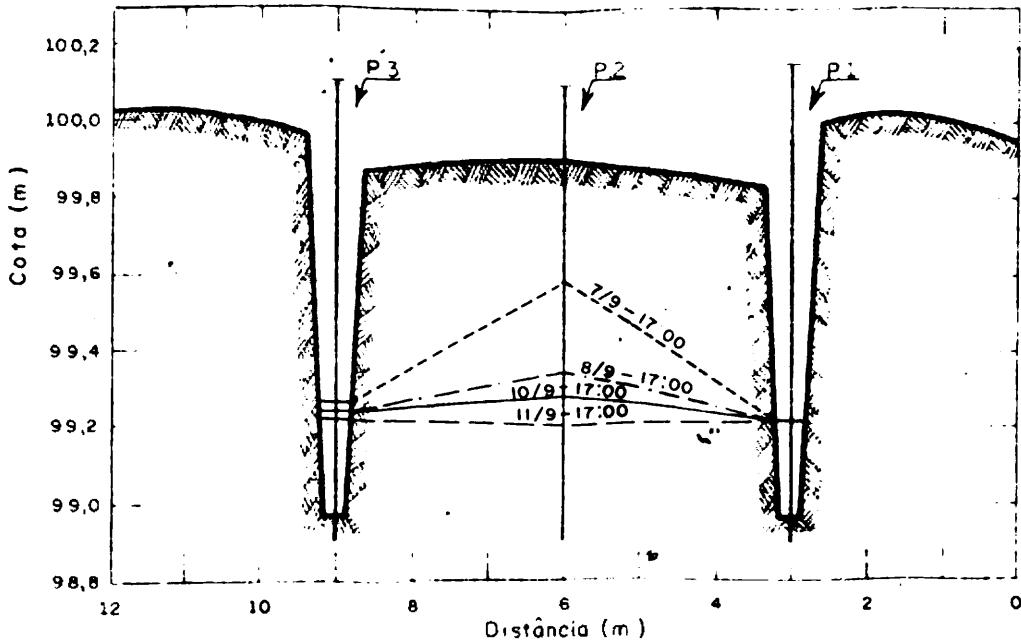
— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 2, Drenagem com valas abertas

Área das parcelas: 360m²

Espacamento entre drenos: 6 m

Cobertura vegetal: A. sativa - Período 3: 6 a 10 set. 1977



BLOCO I

BLOCO II

BLOCO III

Fig nº 12.2

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 3, Drenagem com brita drenos fechados

Área das parcelas: 270 m²

Espaçamento entre drenos: 4,5 m

Cobertura vegetal: A. sativa - Período 3: 6 a 10 set. 1977

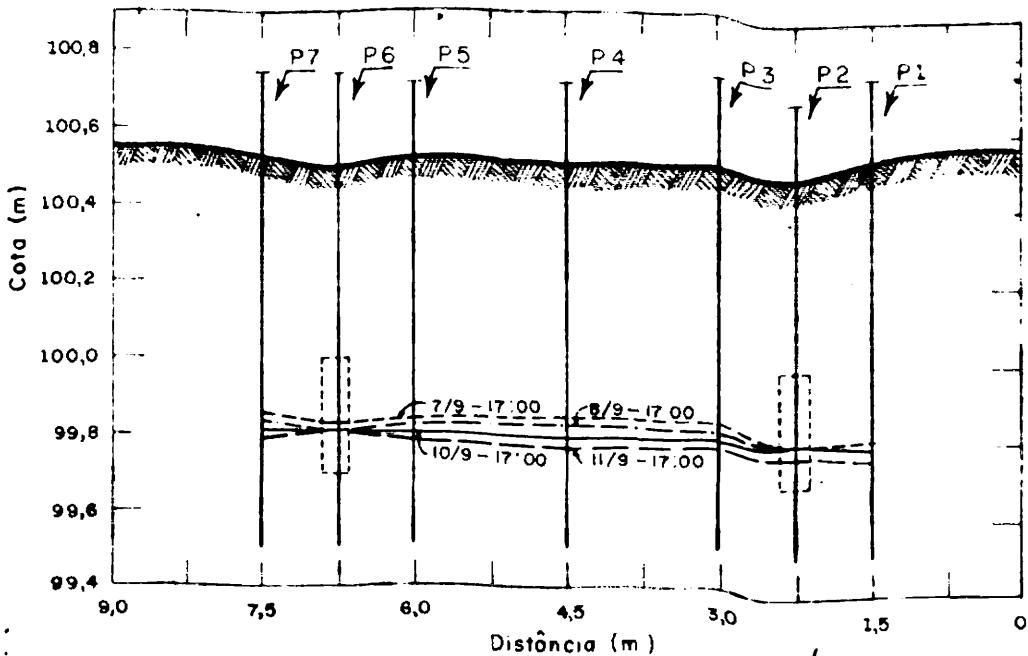
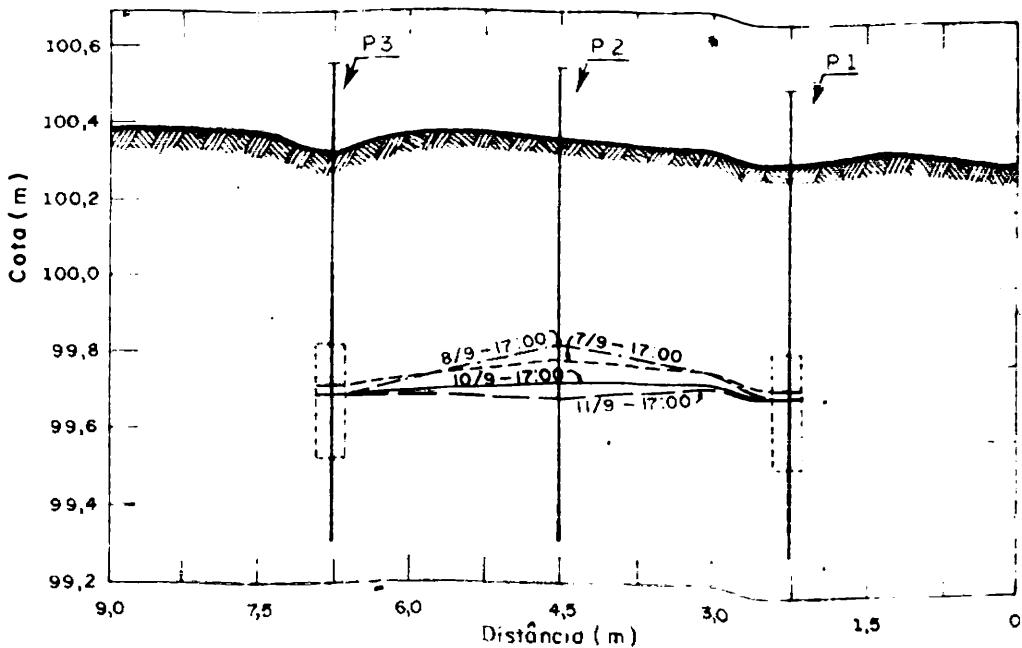
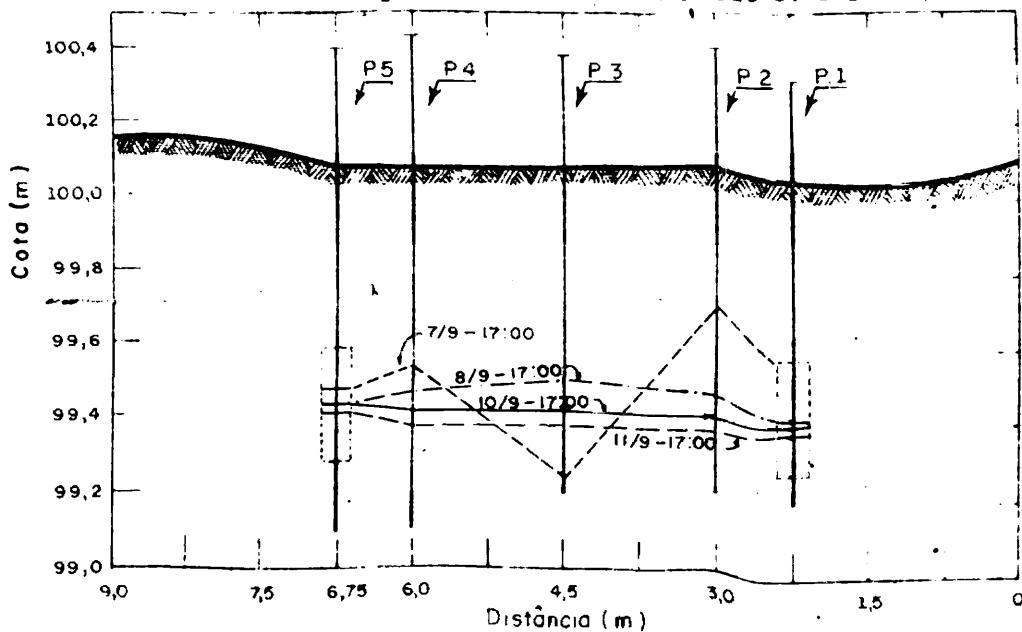
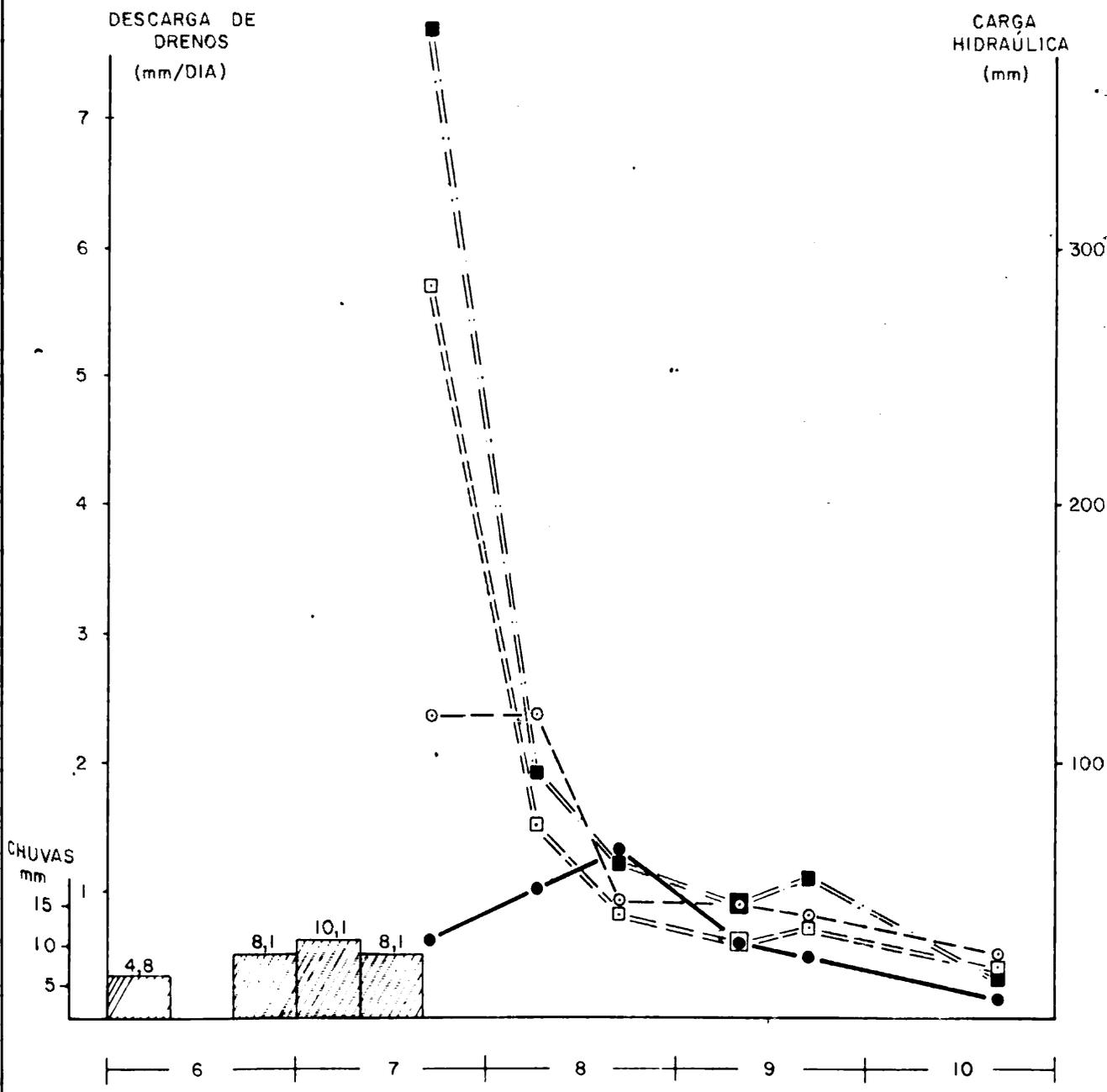


Fig. nº 12.3



Legenda

- == □ == Descarga de valas abertas
- == ■ == Descarga de drenos fechados
- - ○ - - Carga hidráulica com valas abertas
- ● — Carga hidráulica com drenos fechados

Fig.13

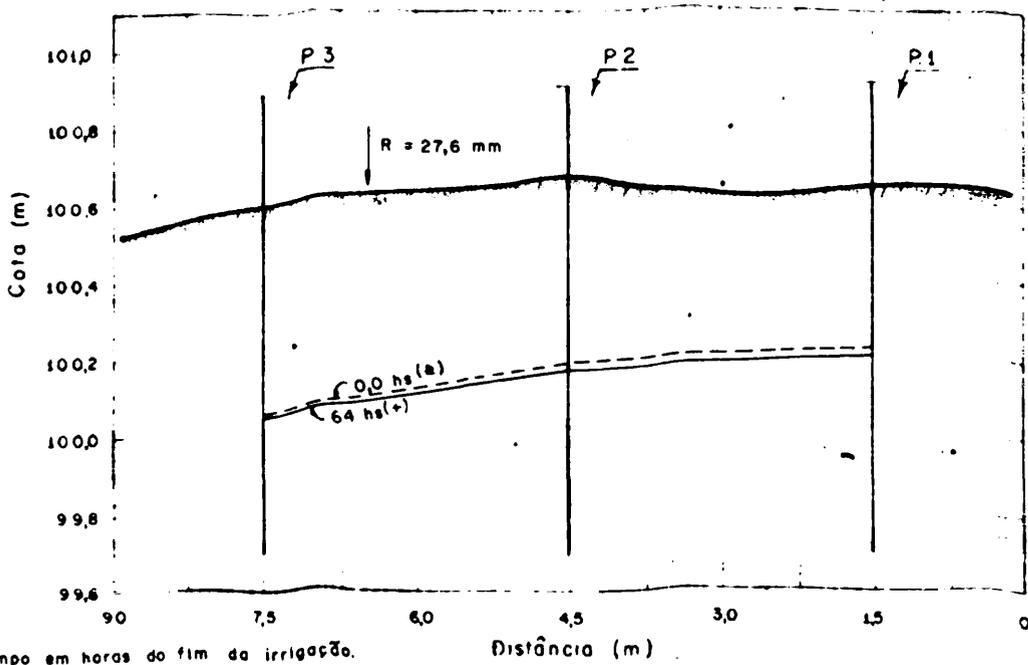
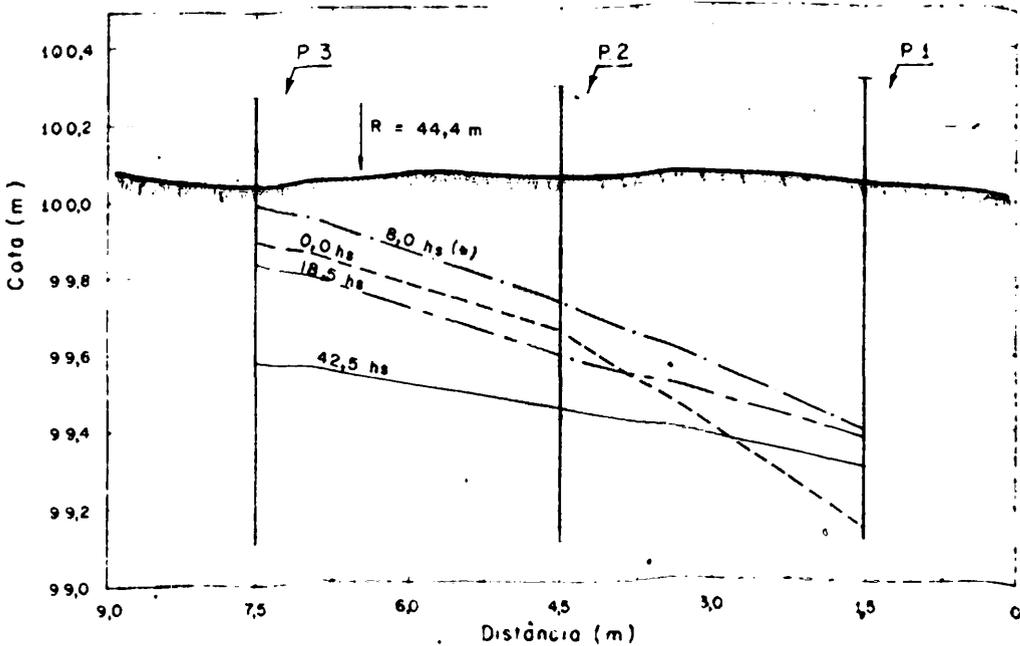
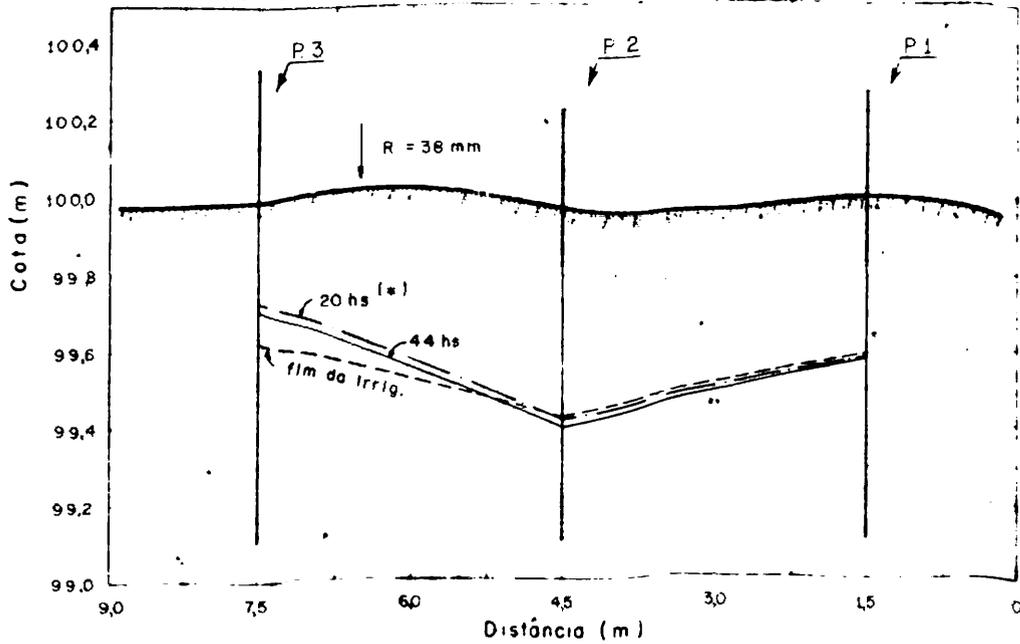
Curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica após uma precipitação — Período 3 - 6 a 10 de setembro de 1977.

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 1. Testemunha sem drenagem

Área das parcelas 270 m²

Cobertura vegetal (aveia) - Período 4.º de 25 a 30 out 1977 (IRRIG)



(m) tempo em horas do fim da irrigação.

Distância (m)

Fig. nº 14.1

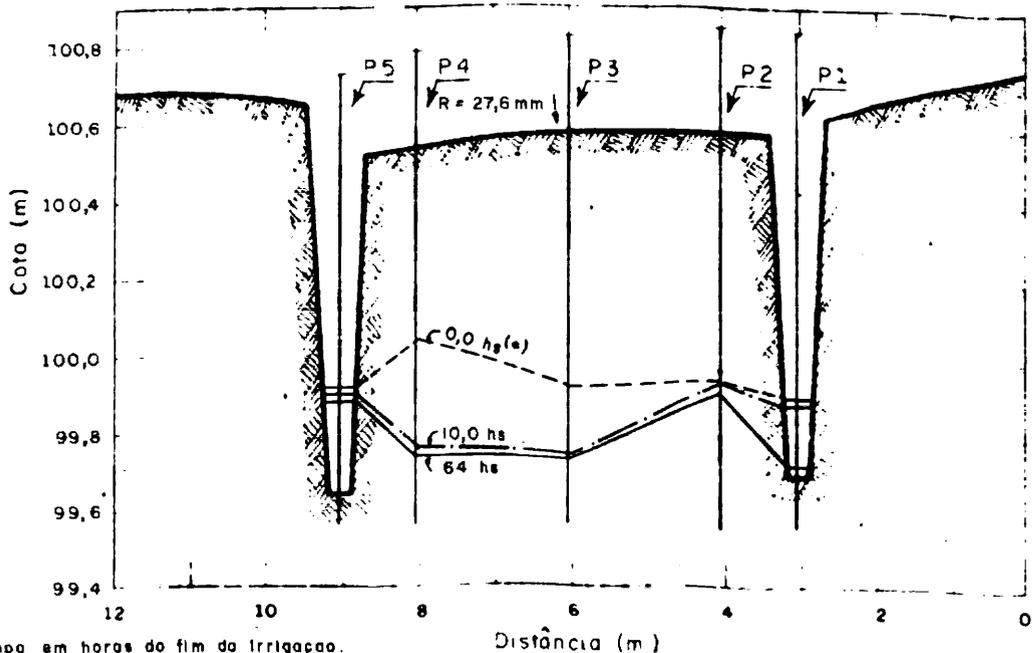
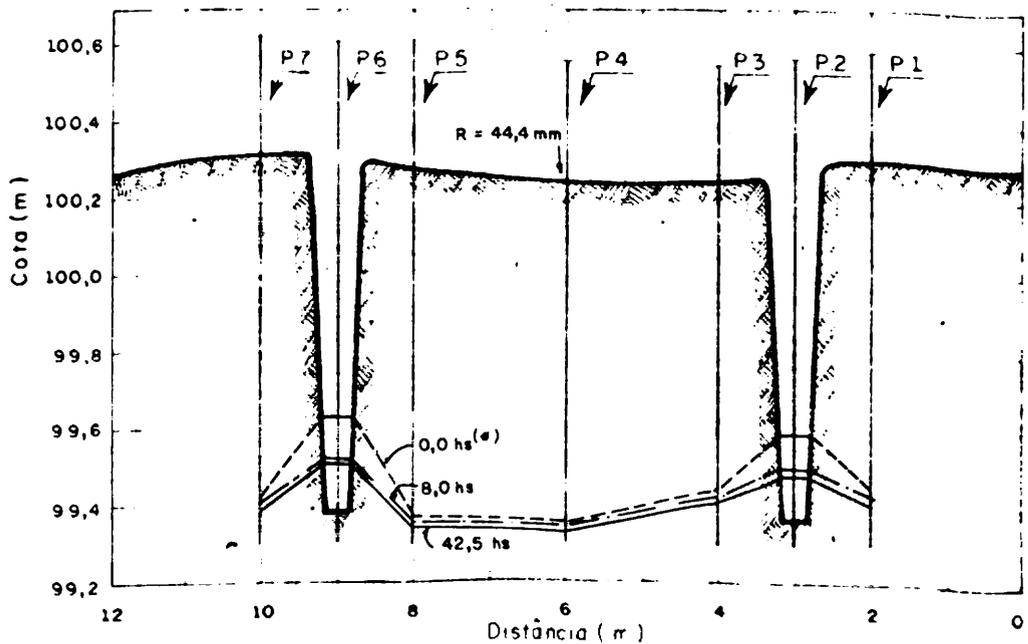
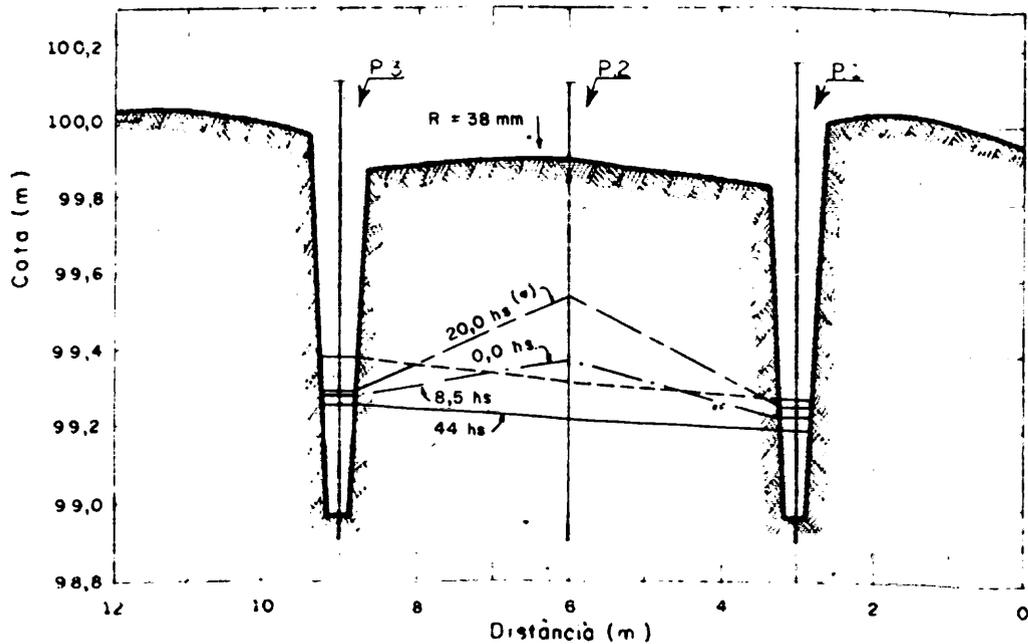
— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 2, Drenagem com valas abertas

Área das parcelas: 360 m^2

Espacamento entre drenos: 6 m

Cobertura vegetal: A. sativa - Período 4: de 25 a 30 out. 1977 (IRRIG.)



tempo em horas do fim da irrigação.

Fig nº 14.2

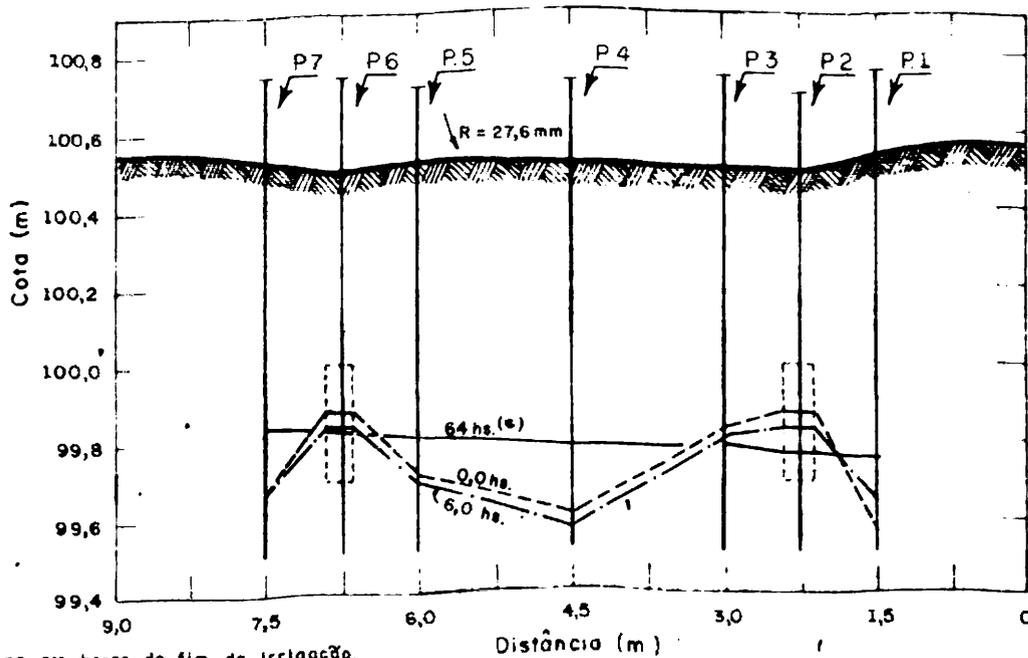
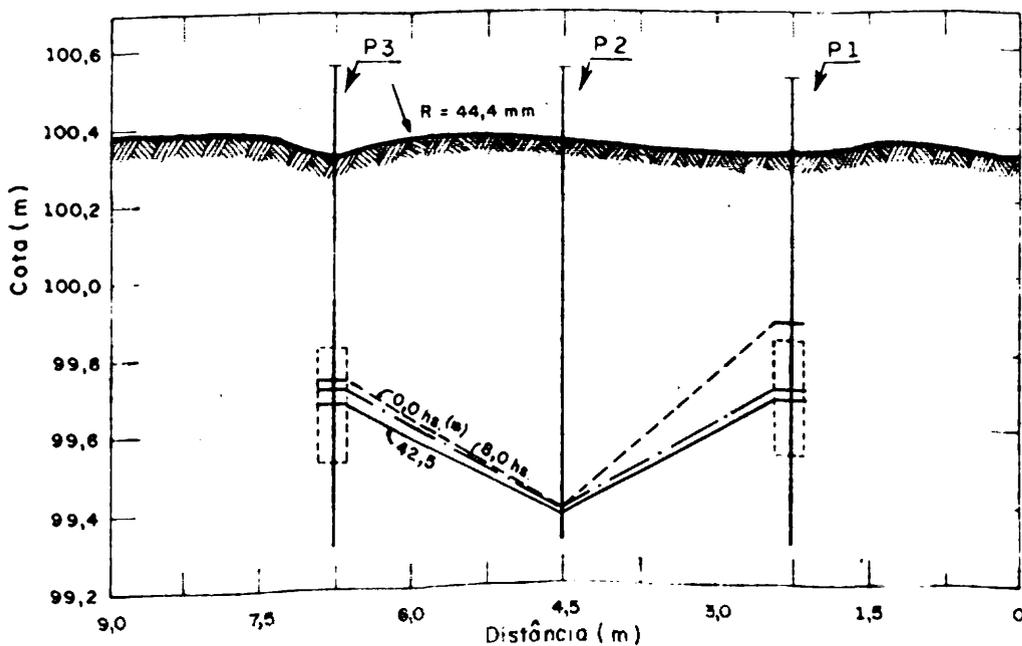
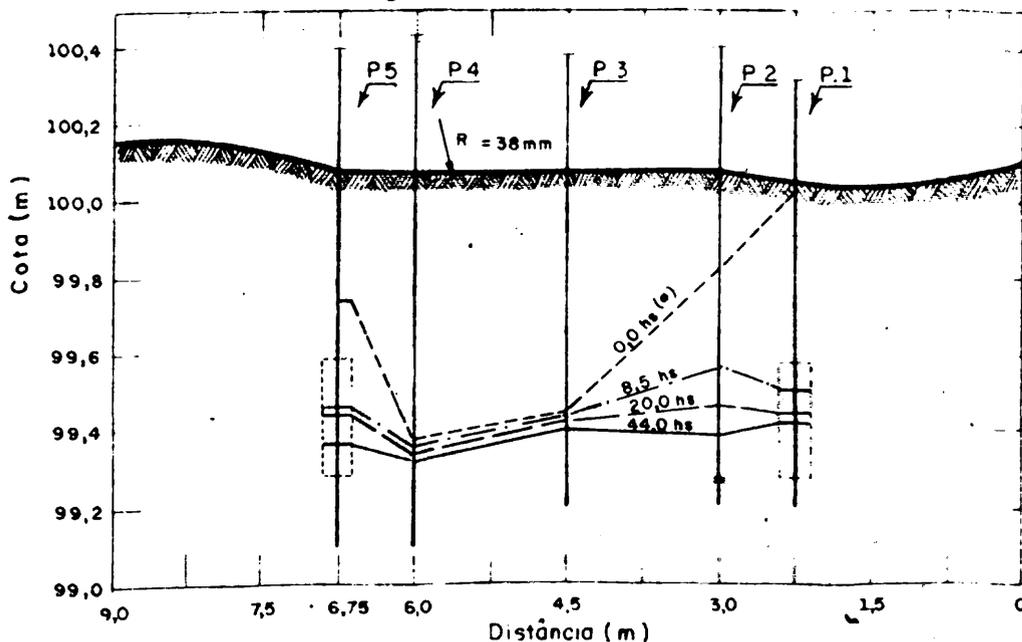
— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 3, Drenagem com brita drenos fechados

Área das parcelas: 270 m²

Espaçamento entre drenos: 4,5 m

Cobertura vegetal: A. sativa - Período 4 de 25 a 30 out. 1977 (IRRIG.)



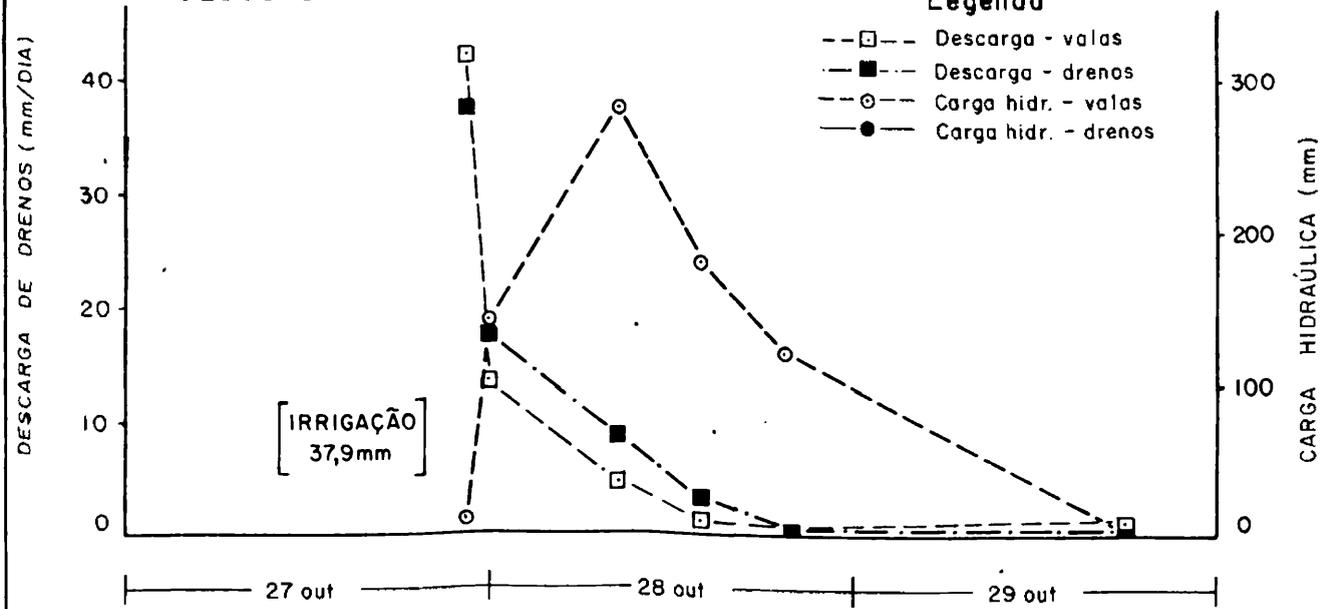
tempo em horas do fim da irrigação.

Fig. nº 14.3

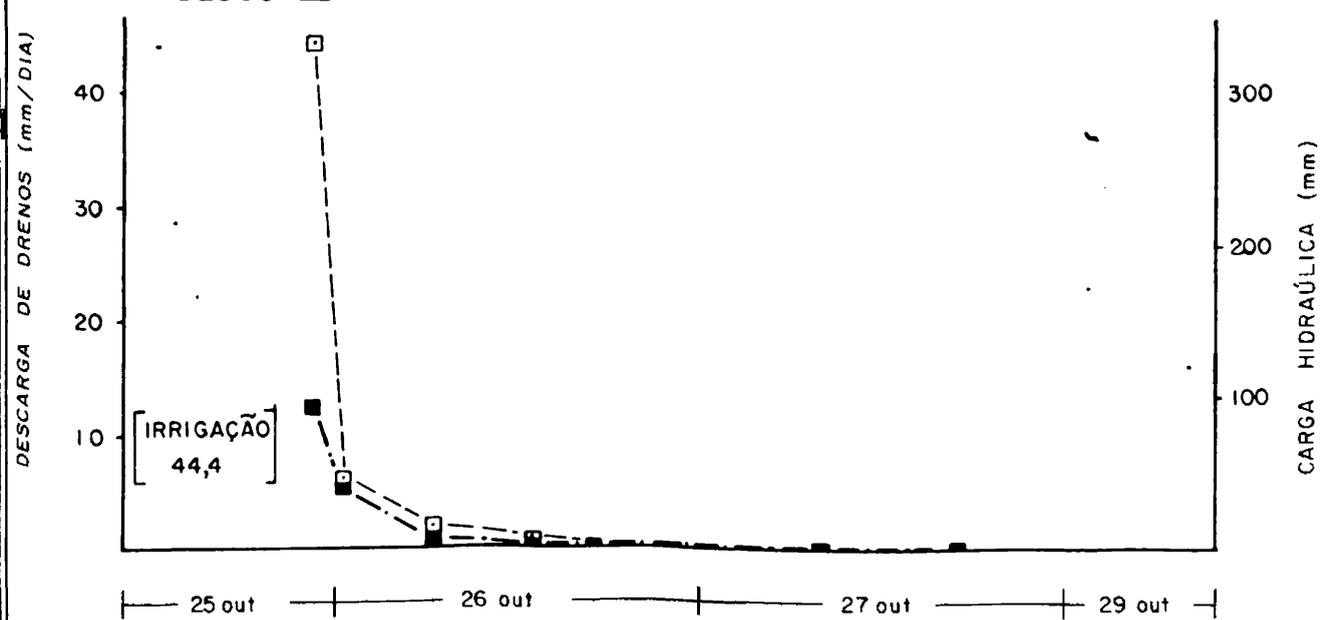
BLOCO I

Legenda

- Descarga - valas
- Descarga - drenos
- Carga hidr. - valas
- Carga hidr. - drenos



BLOCO III



BLOCO III

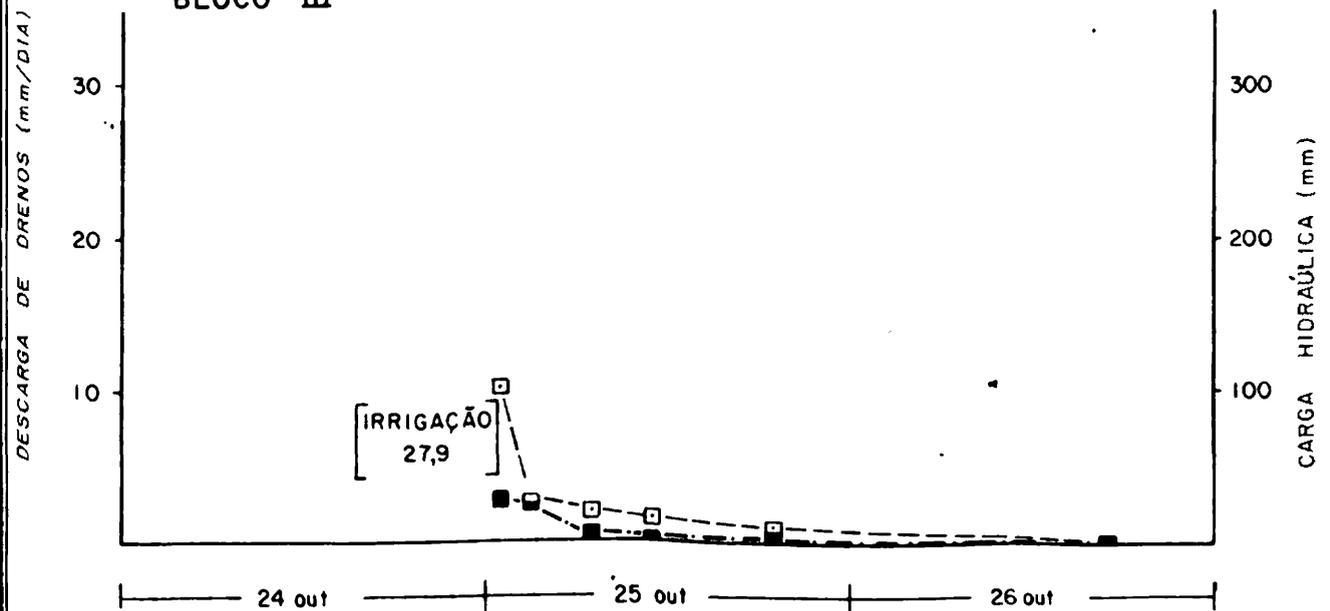


Fig. 15

Curvas de decrescimento da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica após uma precipitação — Período 4 - 25 a 30 de outubro de 1977. Irrigação

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 1. Testemunha sem drenagem

Área das parcelas 270 m²

Cobertura vegetal (aveia) - Período 5: de 31 out. a 4 nov. 1977

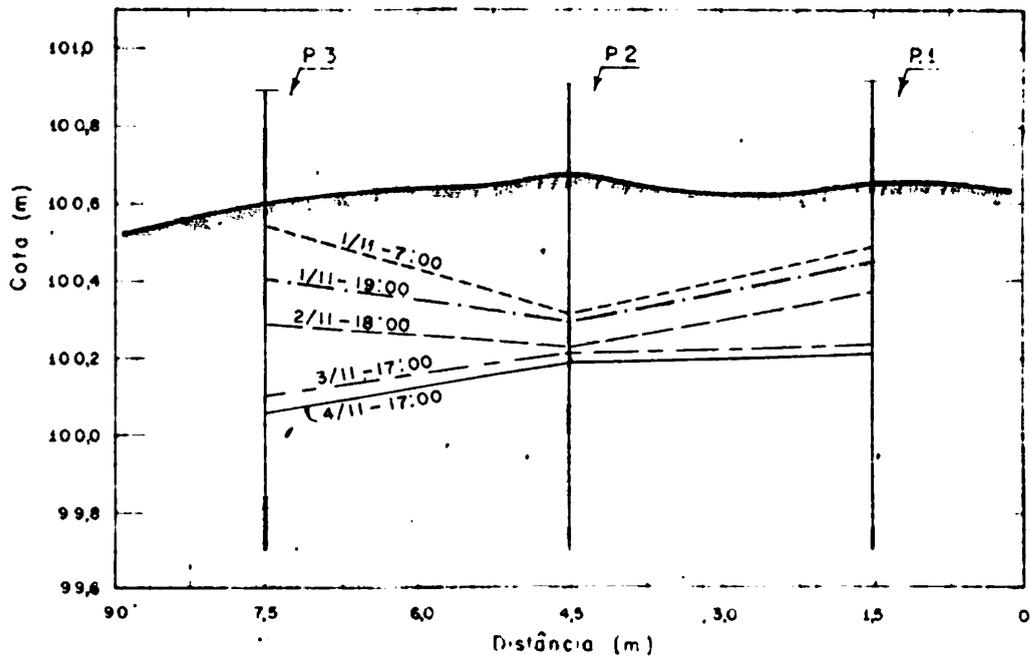
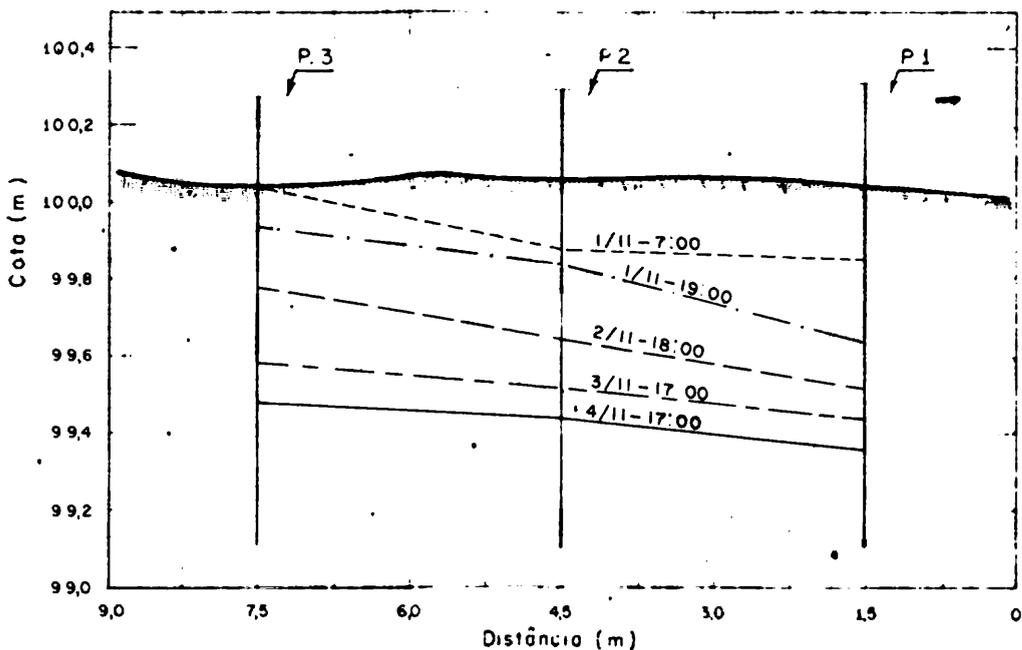
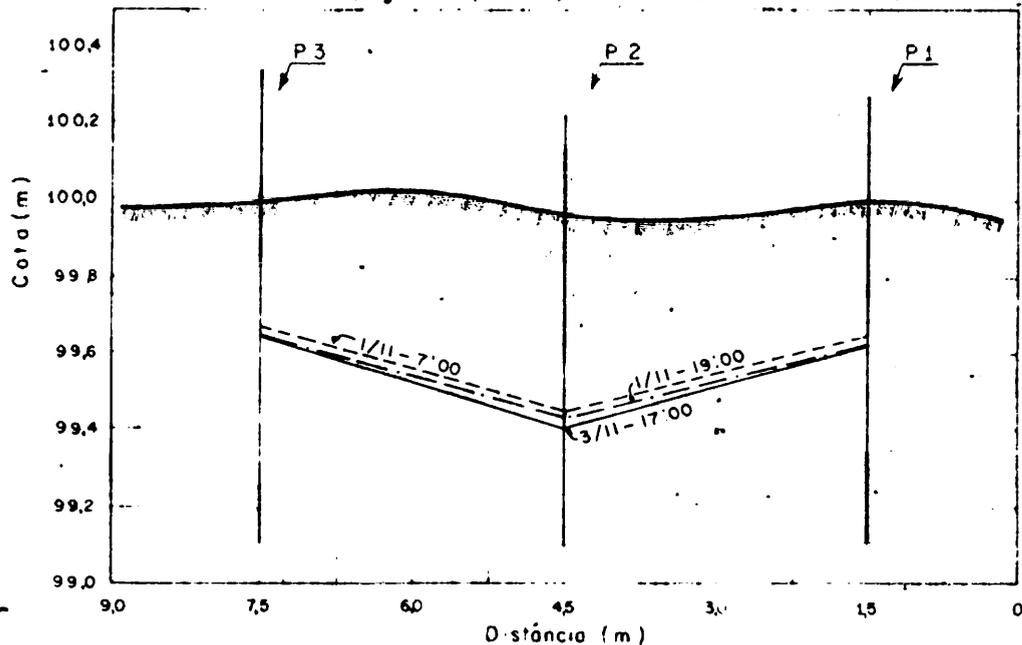


Fig. nº 16.1

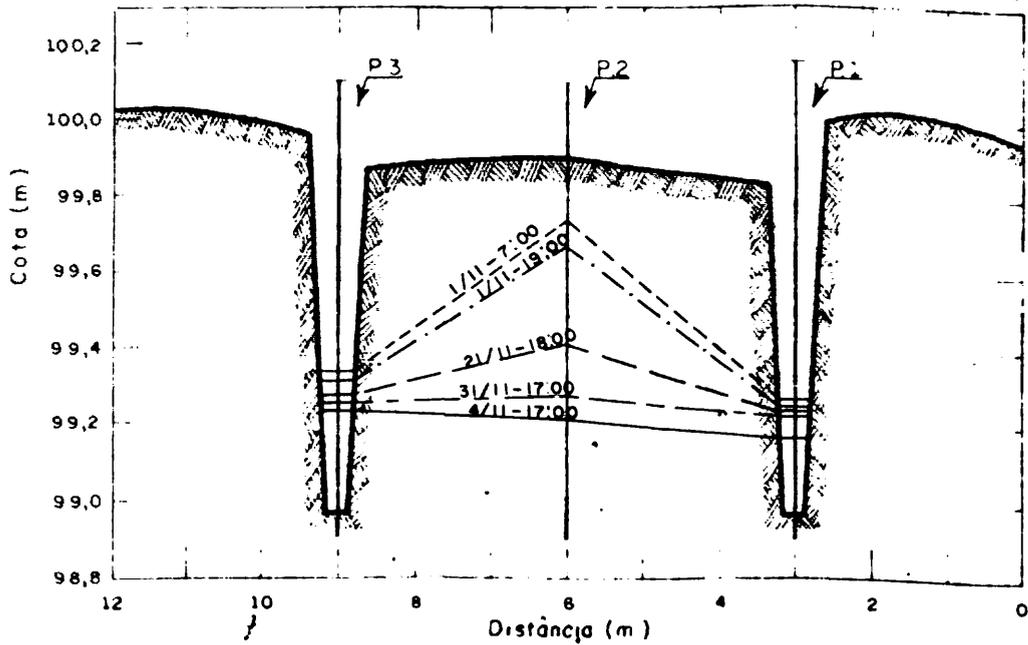
— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 2, Drenagem com valas abertas

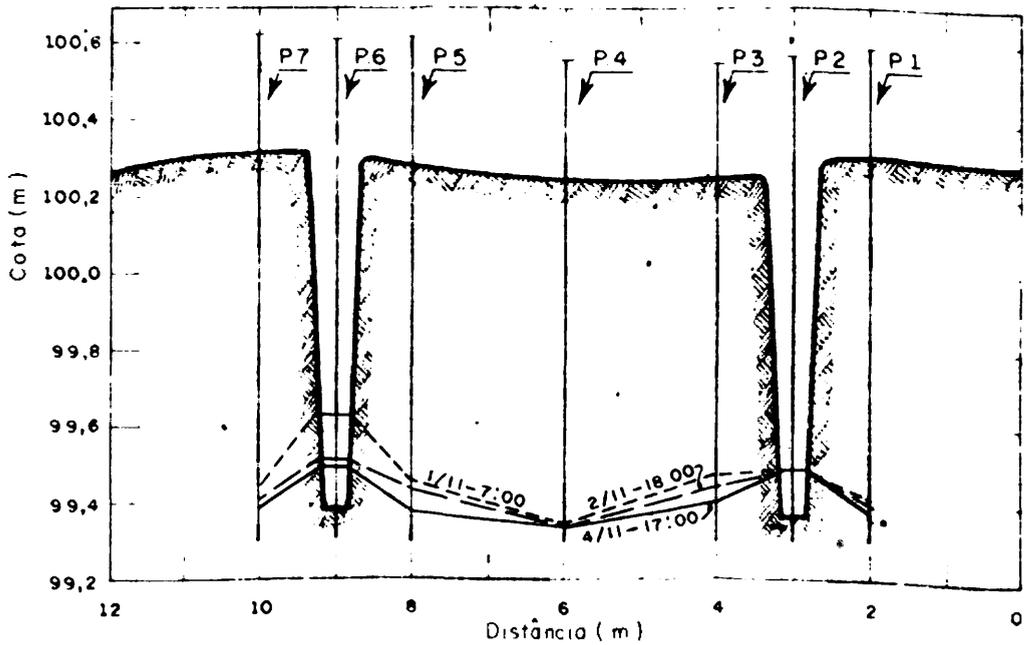
Área das parcelas: 360m²

Espacamento entre drens: 6 m

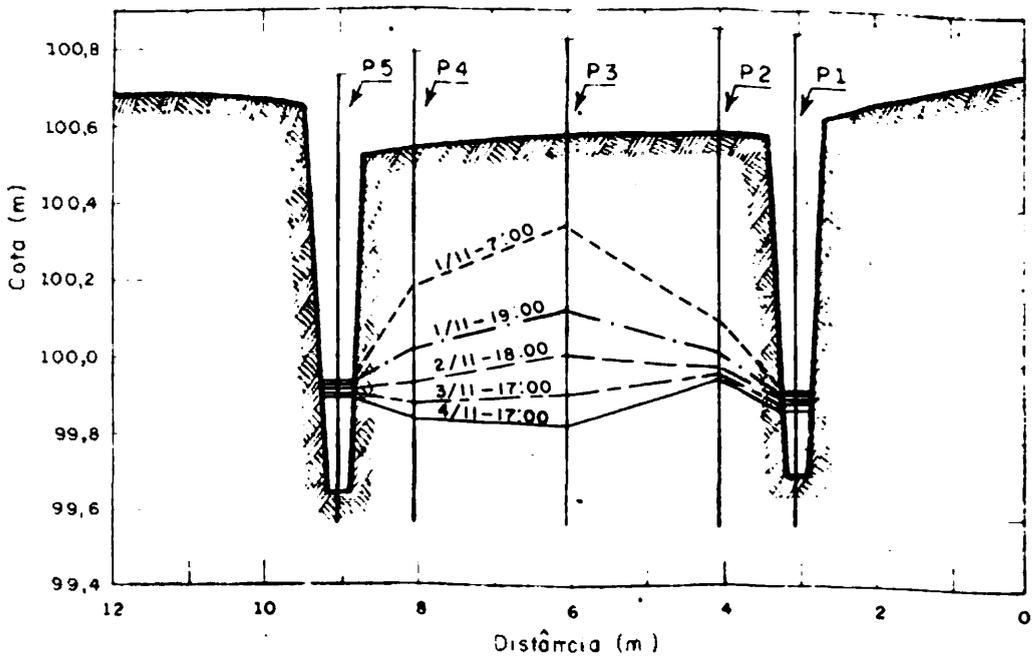
Cobertura vegetal: A. sativa - Período 5: de 31 out. 4 nov. 1977



BLOCO I



BLOCO II



BLOCO III

— COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NAS PARCELAS —

Tratamento 3, Drenagem com brita drenos fechados

Área das parcelas: 270 m²

Espaçamento entre drenos: 4,5 m

Cobertura vegetal: A. sativa — Período 5: de 31 out. a 4 nov. 1977

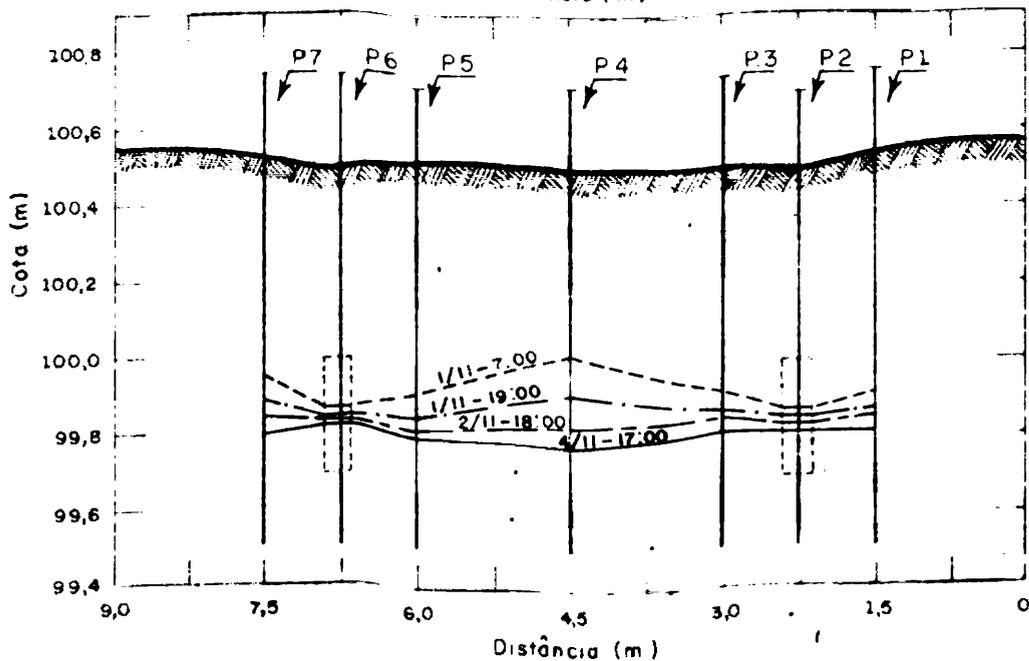
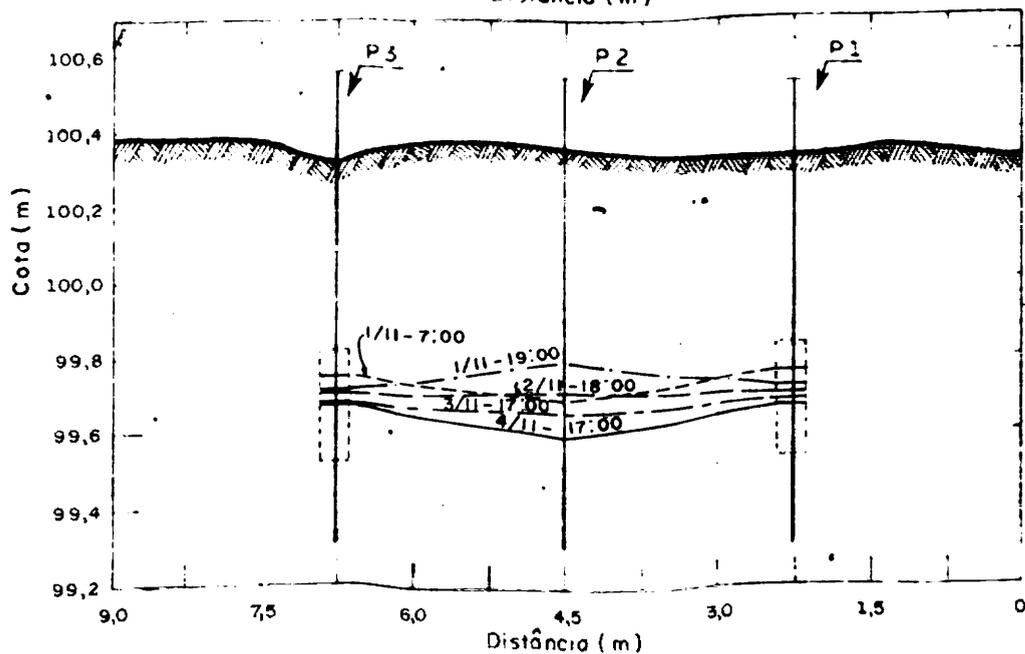
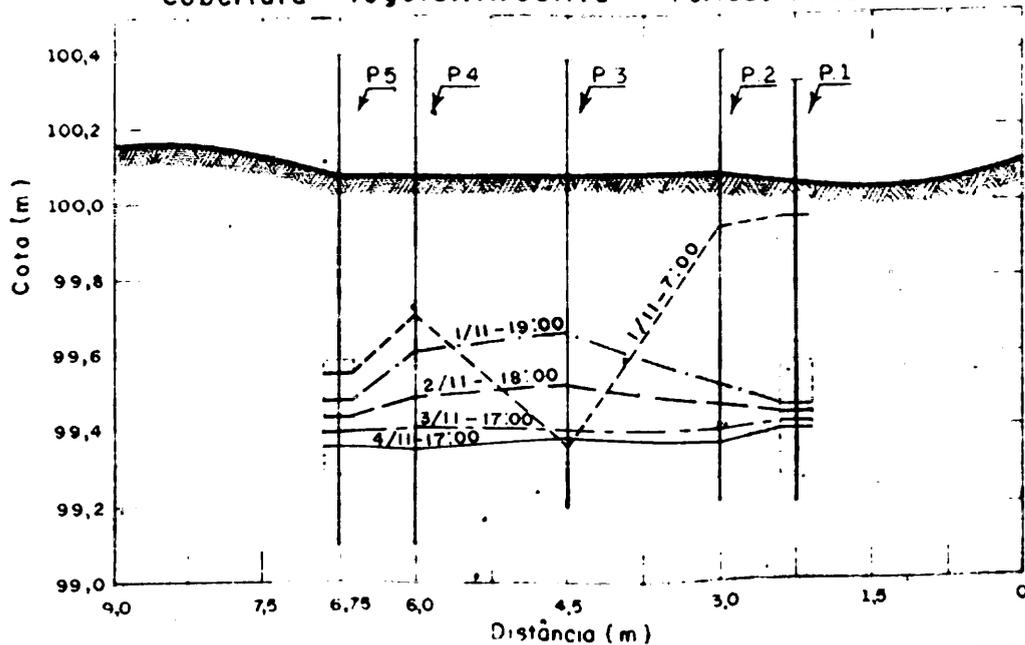
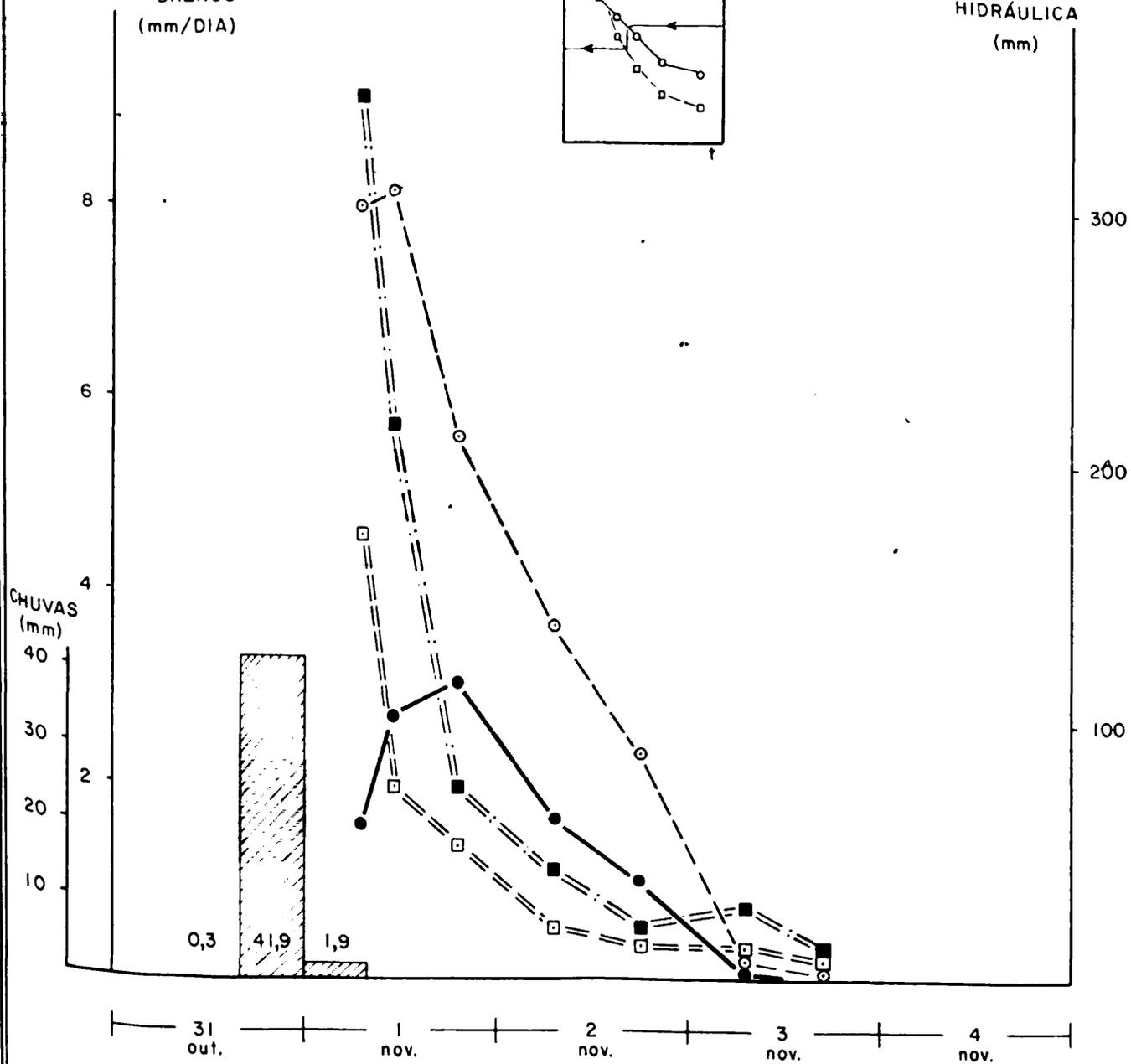
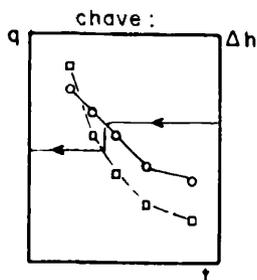


Fig. nº 16.3

DESCARGA DE DRENOS (mm/DIA)

CARGA HIDRÁULICA (mm)



Legenda

- ==== □ ==== Descarga de valas abertas
- ==== ■ ==== Descarga de drenos fechados
- ○ --- Carga hidráulica com valas abertas
- ● — Carga hidráulica com drenos fechados

Fig. 17

Curvas de decréscimo da descarga de valas e drenos e da carga hidráulica após uma precipitação — Período 5 - 31 de outubro a 4 de novembro de 1977.

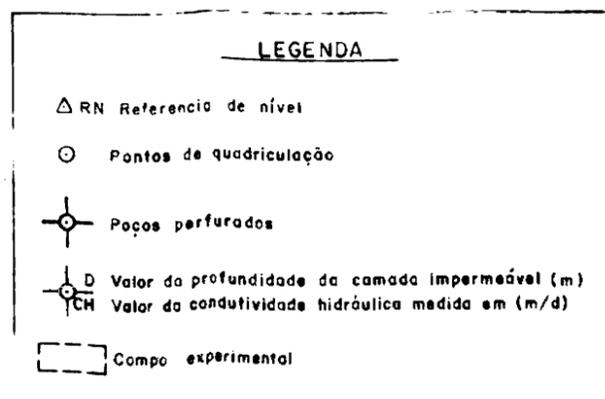
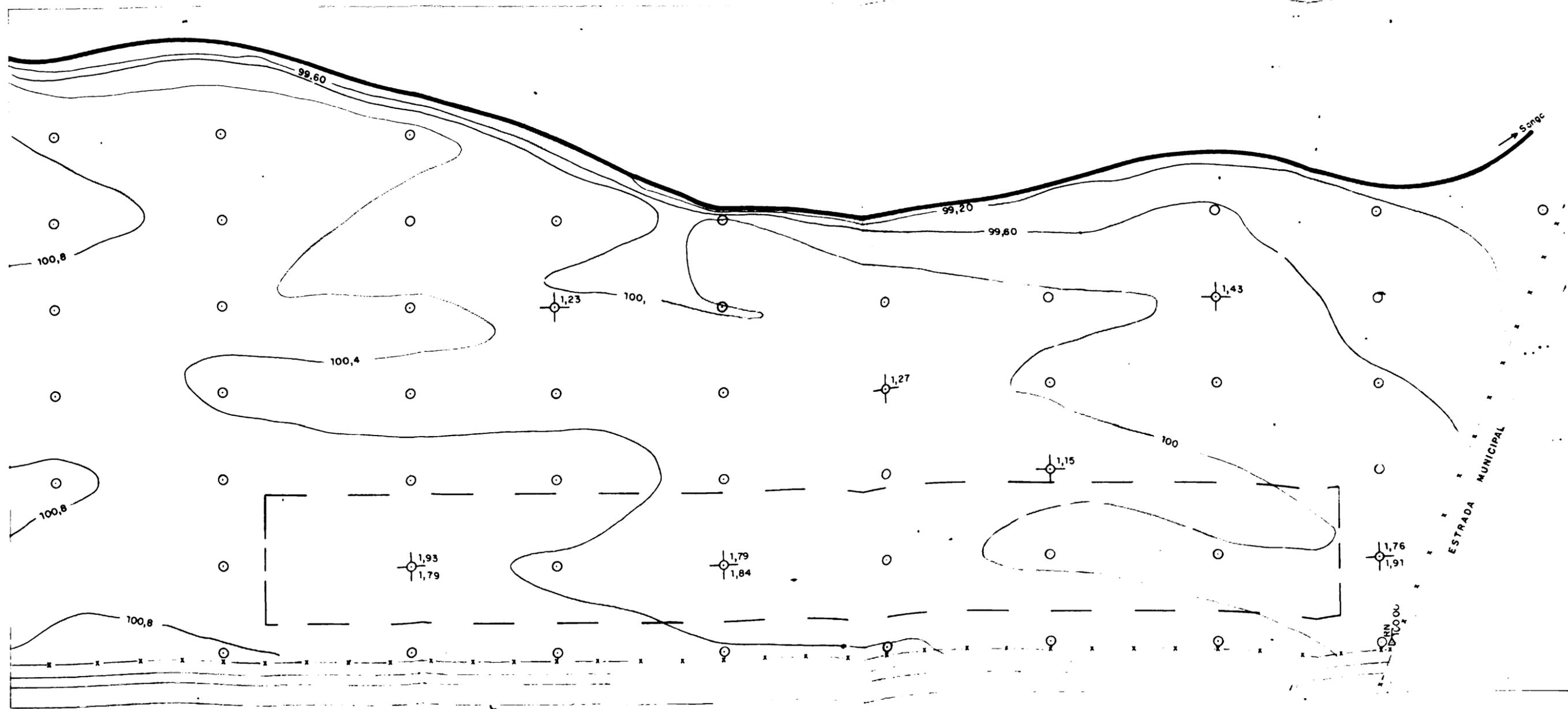


Figura 2 MAPA PLANI-ALTIMÉTRICO DA ÁREA TOTAL
Escala 1:1000

ca, K e a profundidade equivalente, d_e . Nas figuras 19, 22 e 25 observamos que há uma incoerência nos dados obtidos, apresentando parâmetros negativos em alguns casos e com grande variação em outros.

O estudo baseado no regime permanente não é possível uma vez que não ocorre uma saturação contínua do experimento, ou seja, a recarga foi muito variável. Para ser possível a análise dos dados no regime permanente, devemos observar uma alta correlação entre a descarga de drenos e a carga hidráulica, o que é obtido quando não ocorre perdas d'água, como p. ex., a evapotranspiração e o escoamento superficial.

O estudo no regime foi válido uma vez que acreditamos ser possível sua realização nos meses de alto índice pluviométrico de anos hidrológicamente normais, com o solo preparado adequadamente de modo a reduzir o escoamento superficial às valas e drenos.

4.2.4. Estudo baseado no regime variável.

O estudo no regime variável possibilitou o cálculo da condutividade hidráulica, K e da porosidade drenável, p_d , com o auxílio das curvas $\log q \times t$ e $\log Ah \times t$ e das curvas $q \times Ah$. Os valores obtidos são apresentados na tabela 3.

Em uma análise individual dos valores obtidos nos períodos do estudo, podem ser observadas anomalias do sistema quando ocorrer dados dispersos da média. Assim, baixos valores de descargas de valas podem ter sido causados pela obs-

trução parcial das mesmas, fazendo com que os valores da condutividade hidráulica e da porosidade drenável calculados sejam menores que a média (p. ex. tratamento 2, valas abertas, bloco III). Por outro lado, o escoamento superficial imediato e valores de descargas de drenos e de carga hidráulica baixos fazem com que os valores de condutividade hidráulica e porosidade drenável calculados estejam acima da média.

As condições favoráveis à evapotranspiração e o escoamento superficial observados no período 5 fizeram com que os parâmetros calculados não fossem considerados para a obtenção de parâmetros médios, assim, estes foram calculados a partir das médias dos períodos 1 e 2. Assim os valores observados são:

- tratamento 2 - valas abertas

condutividade hidráulica: 0,17 m/d

porosidade drenável: 5,2 %

- tratamento 3 - drenos fechados com brita

condutividade hidráulica: 0,38 m/d

porosidade drenável: 12,0 %

Os parâmetros médios obtidos para drenos fechados são maiores que os obtidos para valas abertas, isto ocorre porque os drenos fechados funcionam como valas abertas, assim, os parâmetros sofrem influência do espaçamento e da profundidade equivalente, menores para drenos fechados e, da relação $q/\Delta h$, menor para valas abertas.

Portanto, podemos considerar os parâmetros obtidos para valas abertas como os representativos de planossolos da uni-

dade de mapeamento Vaccari.

A continuidade do experimento permitirá o estabelecimento dos parâmetros médios do solo empregando velas abertas e drenos fechados.

4.3. Comportamento da cultura teste.

O comportamento da cultura teste, a aveia (*A. sativa*), foi verificado pela determinação da matéria seca total e pelo acompanhamento visual da cultura.

A tabela 4 apresenta a produção de matéria seca total em toneladas/ha no florescimento, de onde observamos que houve uma diferença significativa entre os tratamentos, diferença esta acentuada quando comparamos a testemunha sem drenagem aos tratamentos com drenagem.

O acompanhamento visual da cultura teste foi feito durante todo o ciclo, desde a emergência, e pode ser apresentado da seguinte forma:

- a. emergência: ocorreu desuniformemente em todos os tratamentos, sendo menor no tratamento sem drenagem pela saturação ocorrida nestas parcelas.
- b. vegetação: durante o estado vegetativo a cultura manteve-se viçosa nas parcelas com drenagem, e no também na testemunha sem drenagem, apesar de apresentar menor densidade nestas parcelas.
- c. florescimento: o florescimento, como a emergência, ocorreu parceladamente, já refletindo a adversidade do clima.

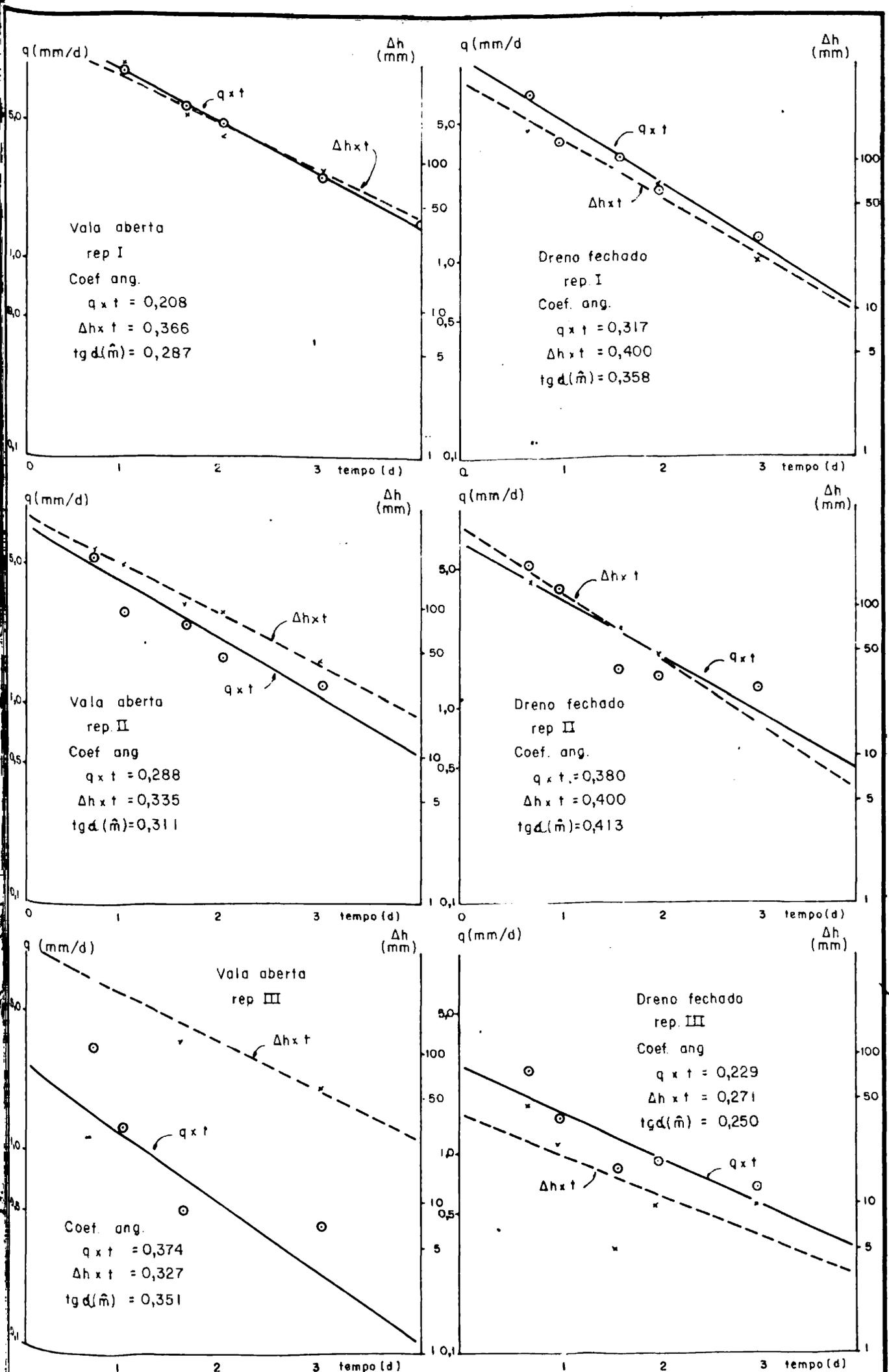


Fig. 18

Curvas de descarga q e carga hidráulica Δh - versus tempo (escala semi-log.)
 Período 1-17 a 22 agosto 1977.

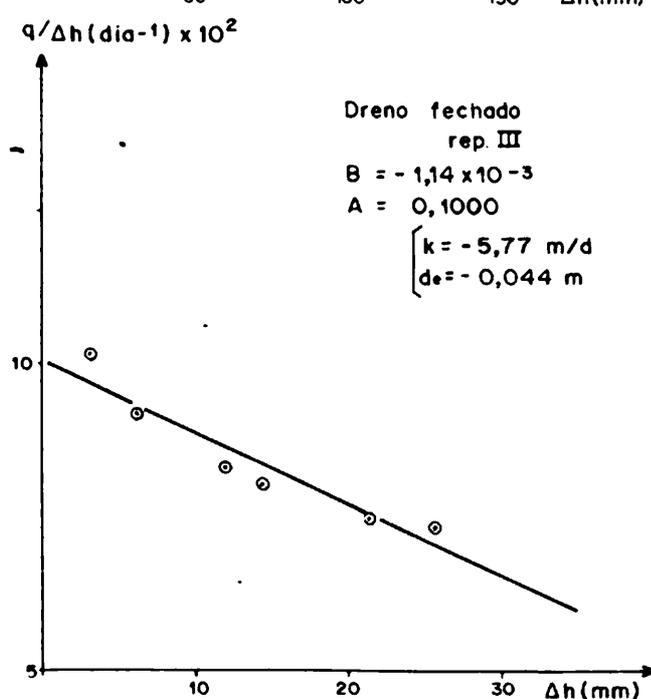
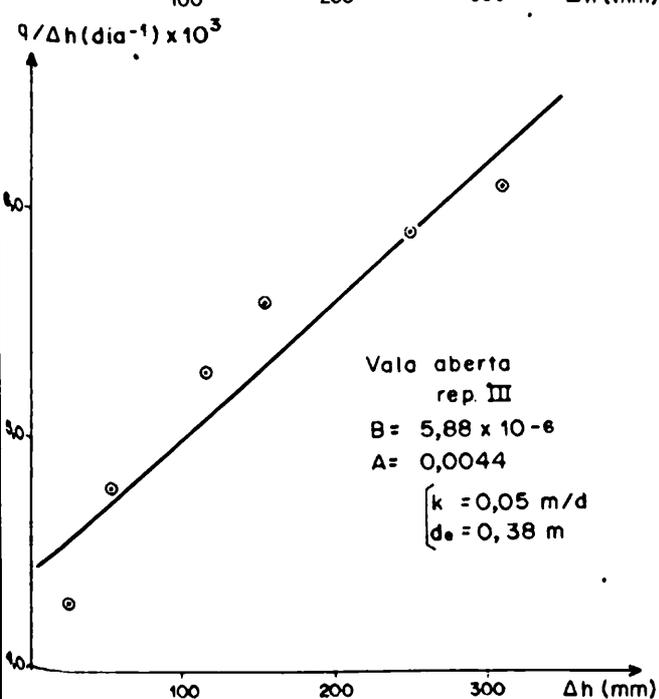
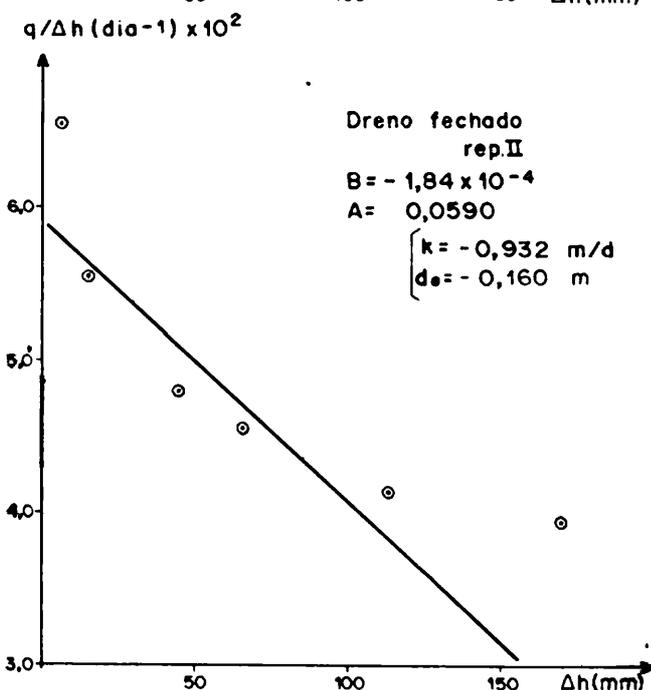
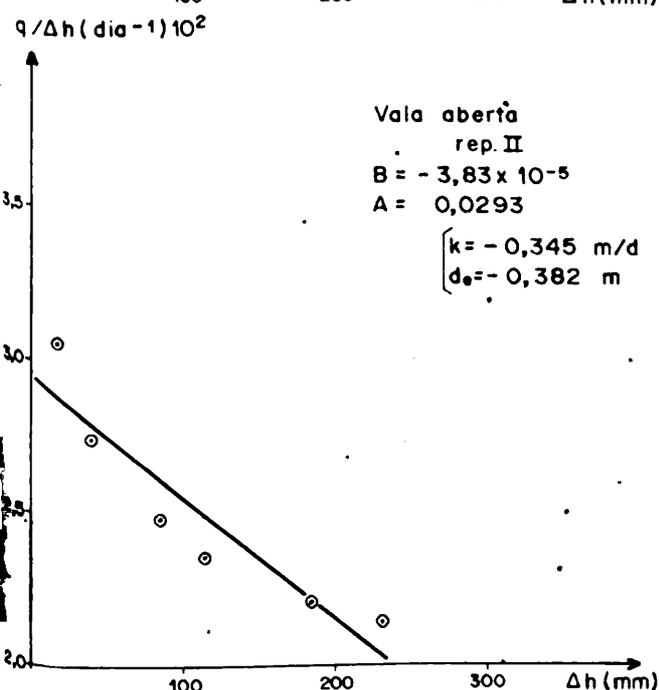
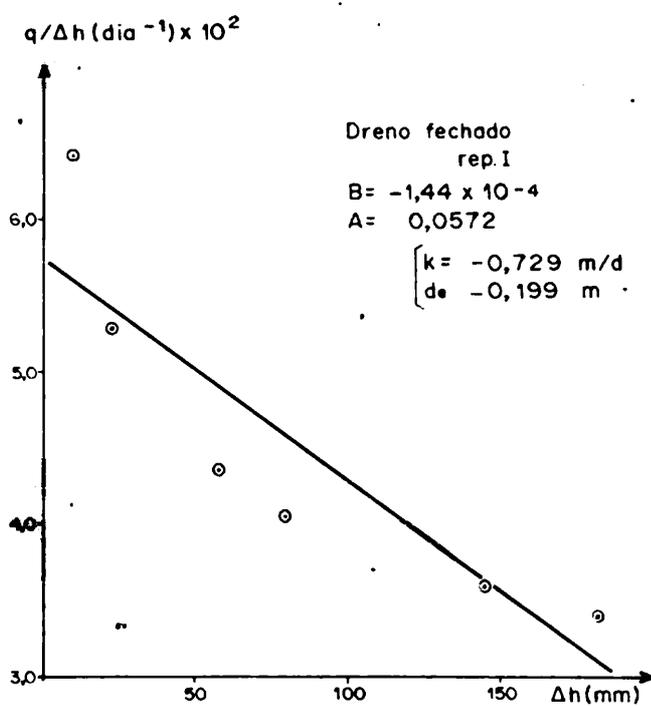
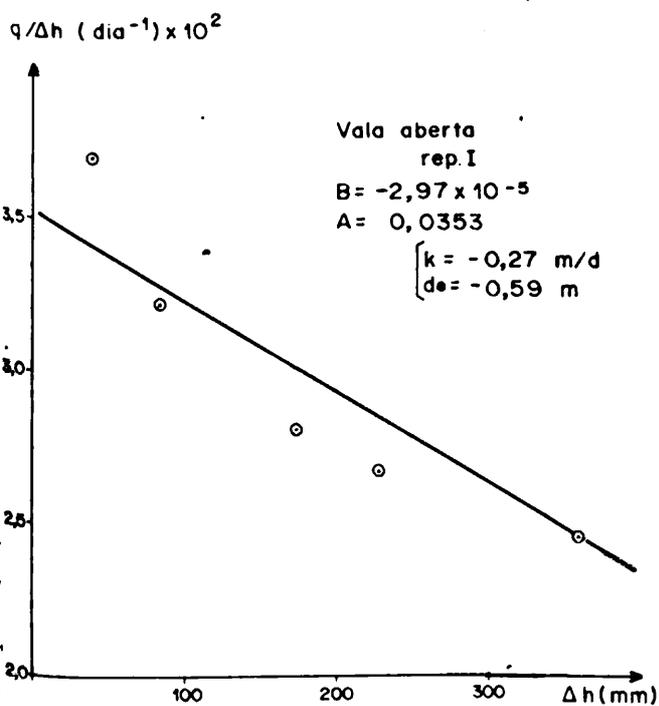


Fig.19 - Curvas $q/\Delta h \times \Delta h$ para estudo baseado no regime permanente
Período 1- 17. a 22- AGO / 1977

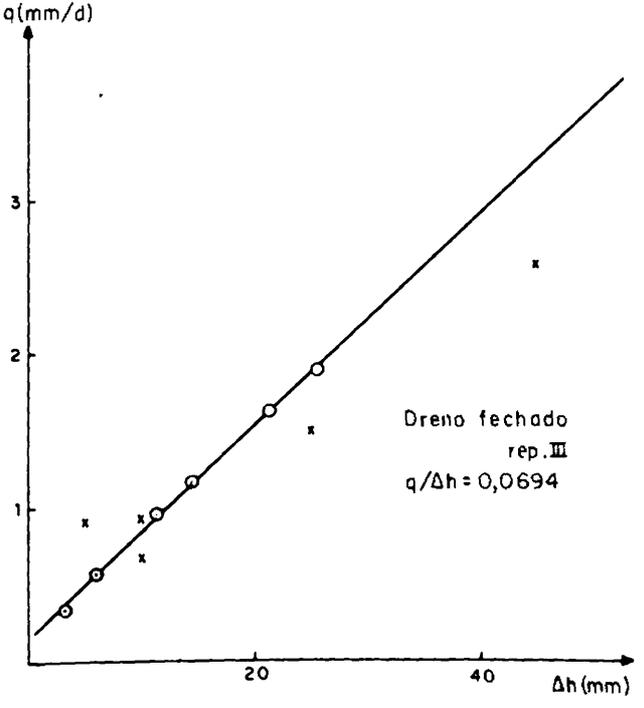
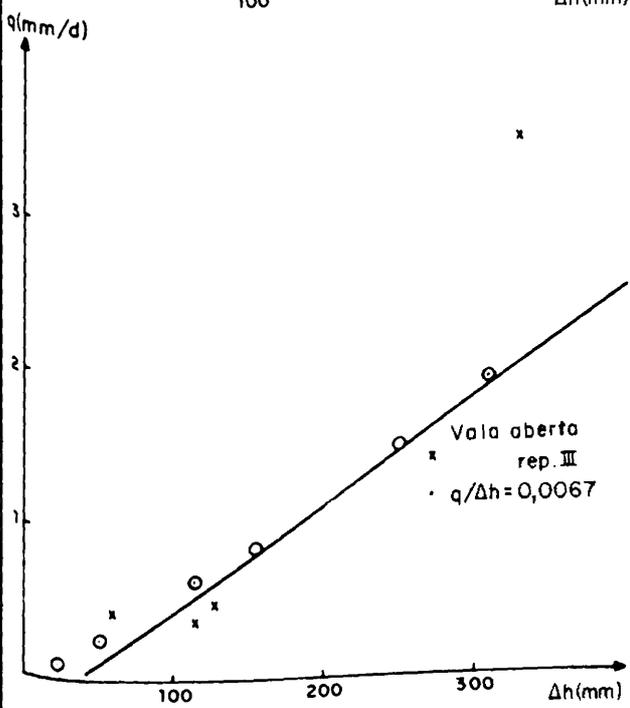
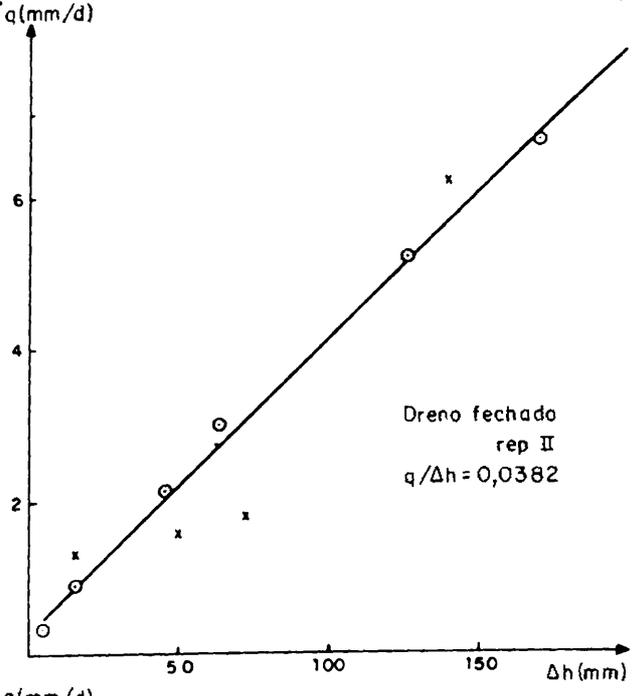
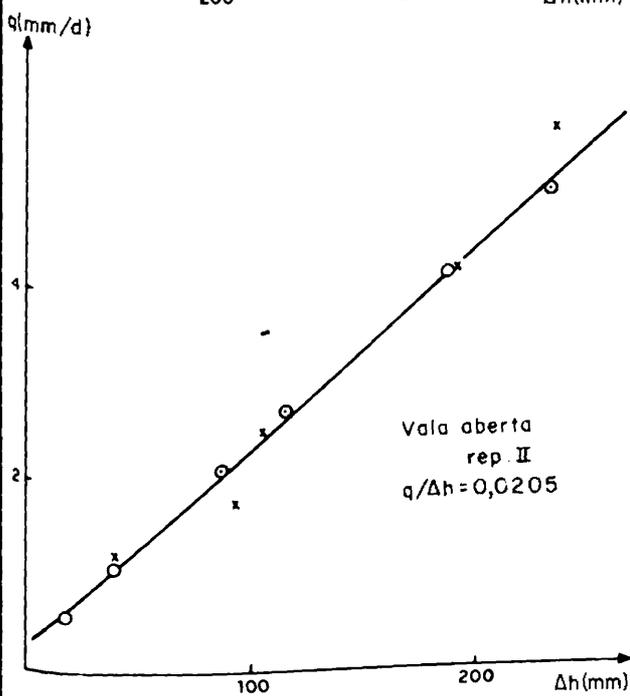
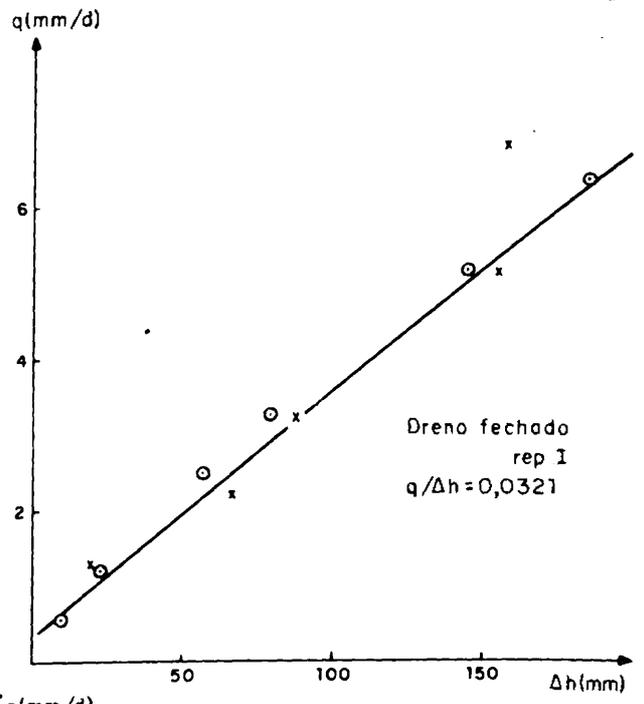
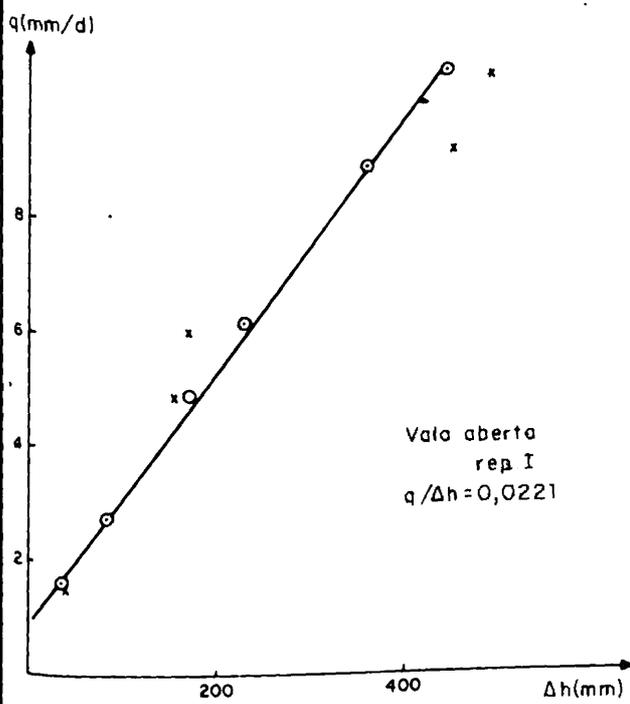


Fig.20- Curvas de descarga- q x Carga hidráulica. Δh para estudo no regime variável. Período 1 - 17 a 22-Agosto-1977

PONTOS $\left\{ \begin{array}{l} \circ - \text{normais} \\ \times - \text{experimentais} \end{array} \right.$

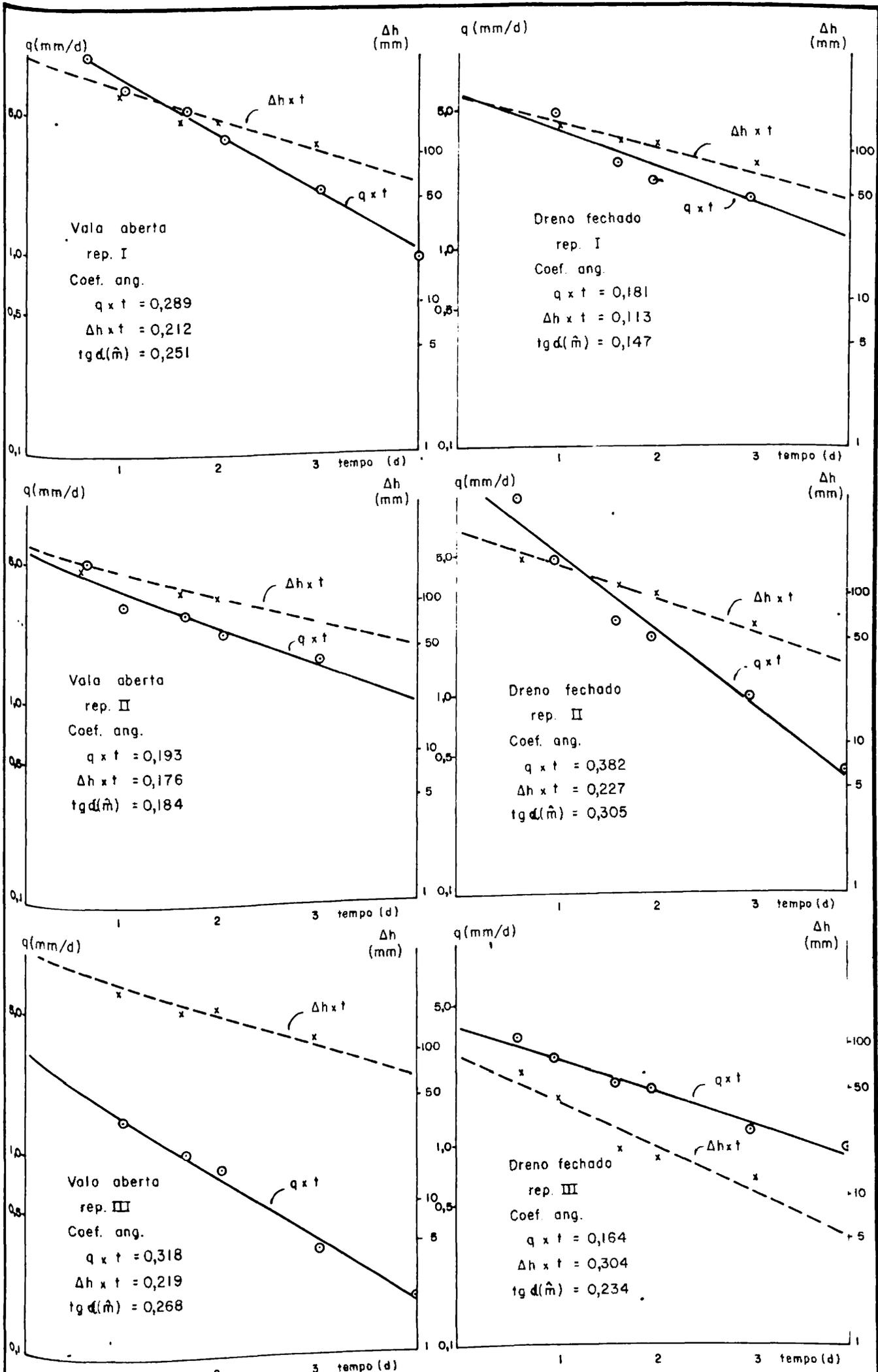


Fig. 21

Curvas de descarga q e carga hidráulica - Δh - versus tempo (escala semi-log.)
 Período 2-24 a 29 agosto 1977.

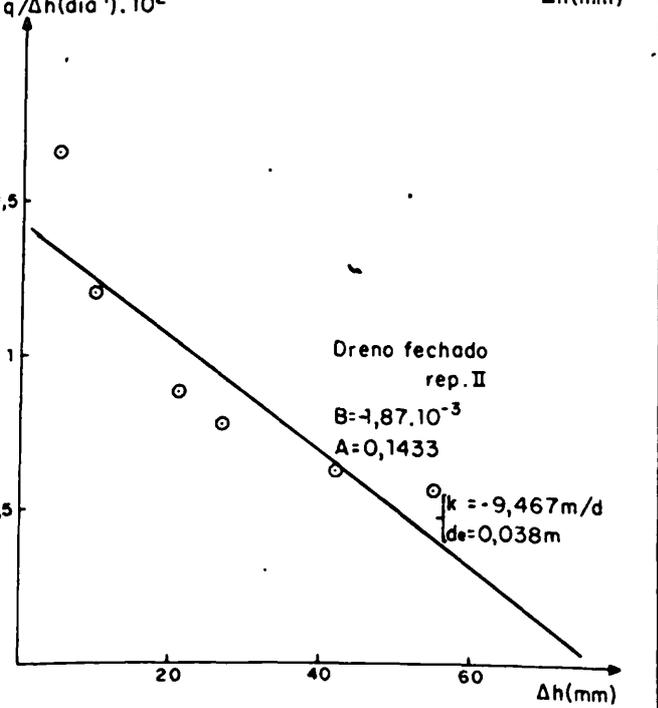
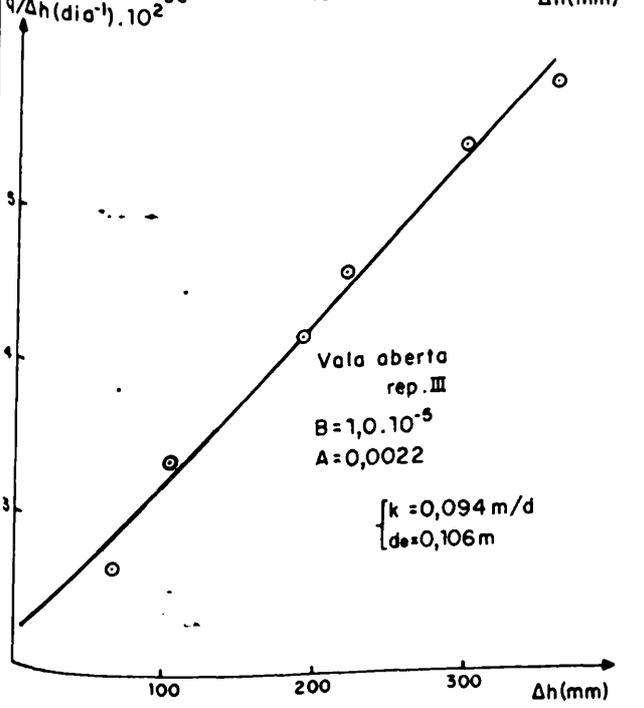
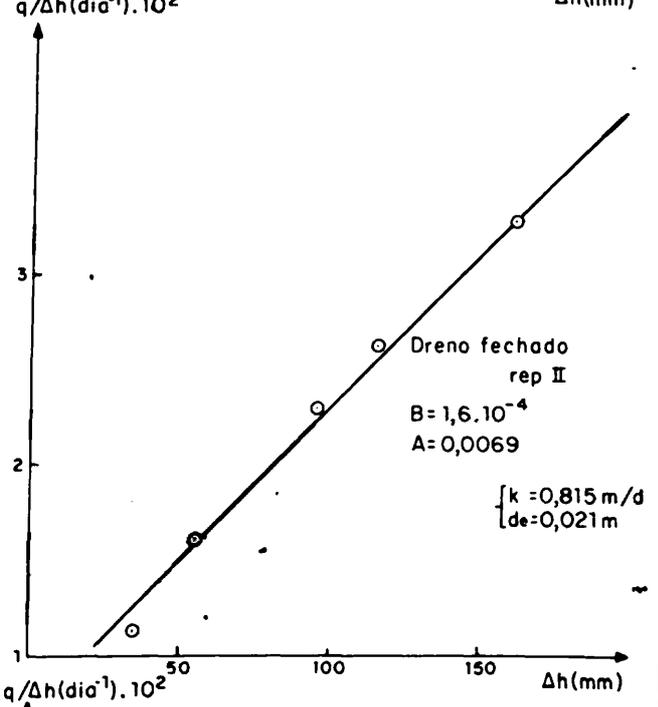
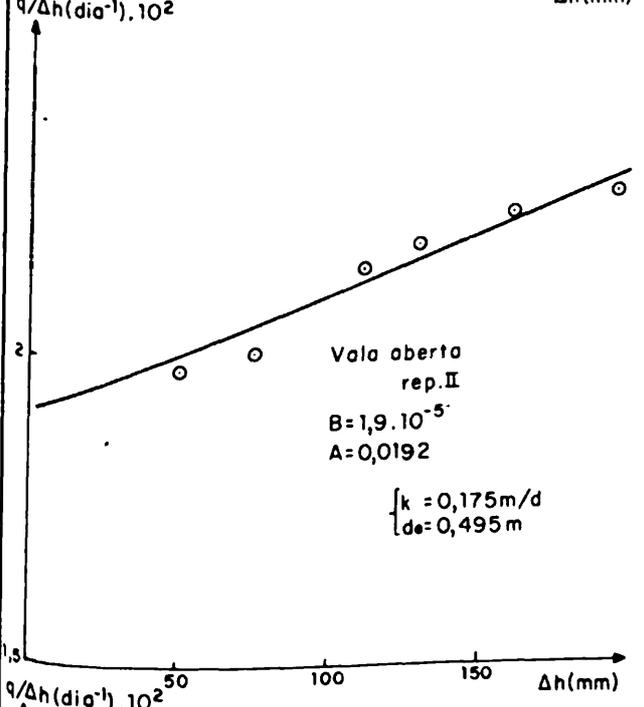
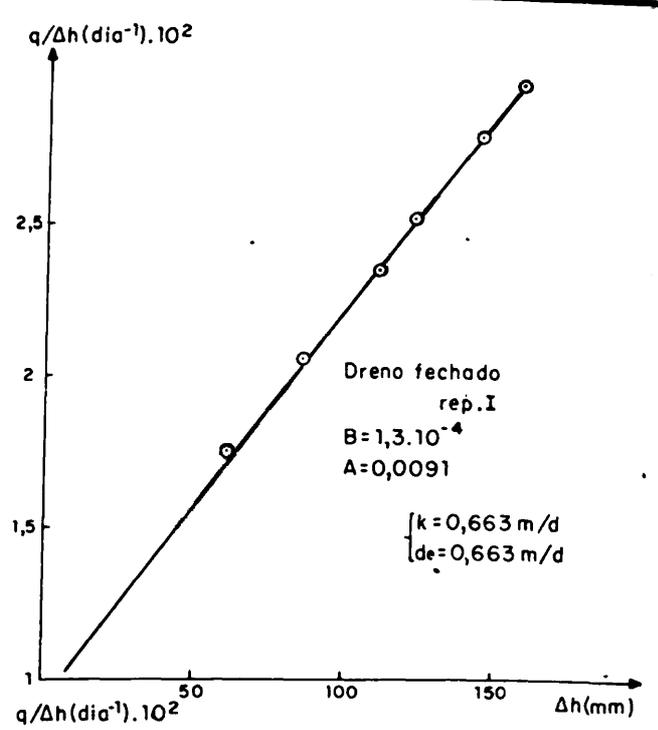
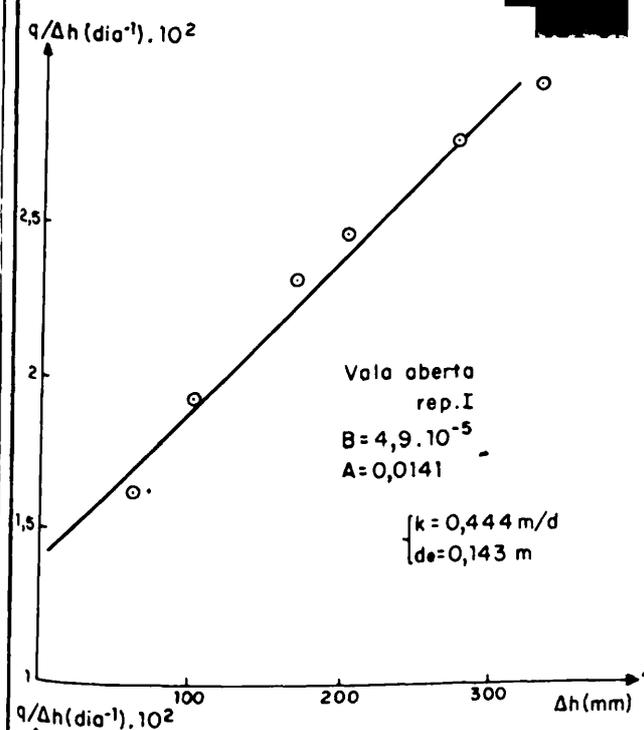


Fig.22- Curvas $q/\Delta h$ para estudo baseado no regime permanente.
Período 2 - 24 a 29 - Agosto - 1977

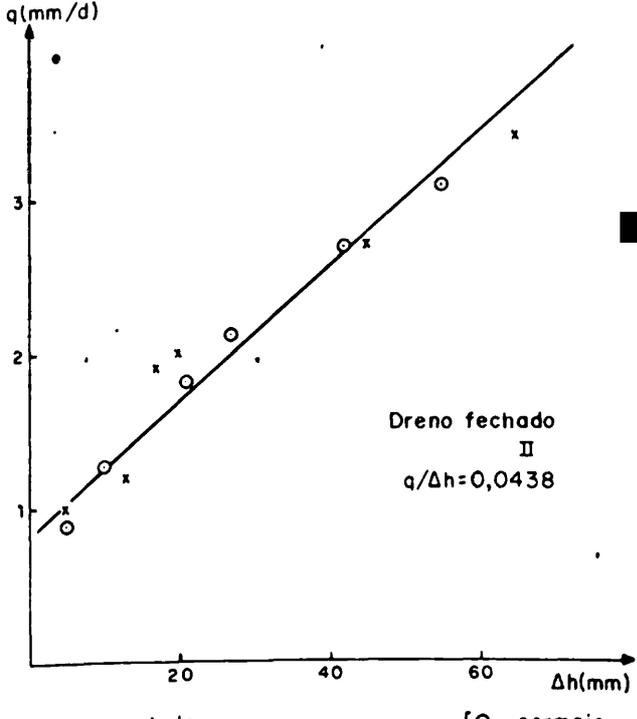
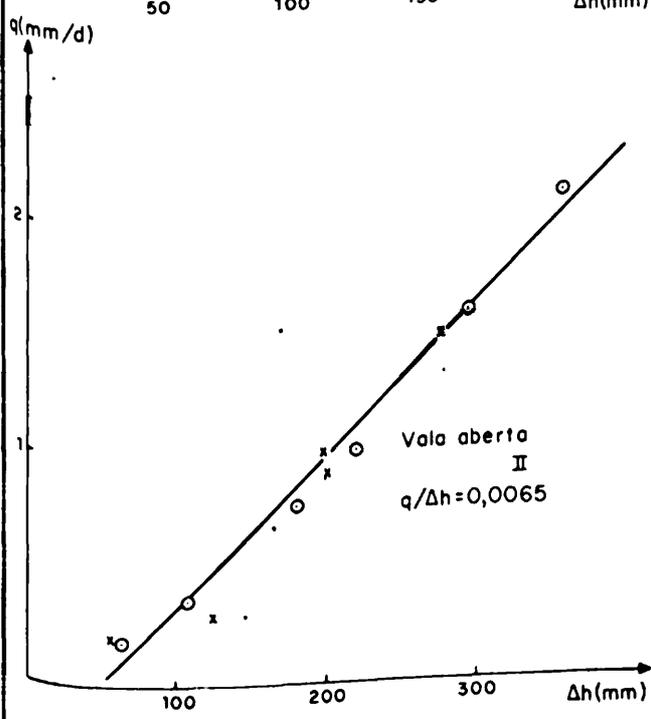
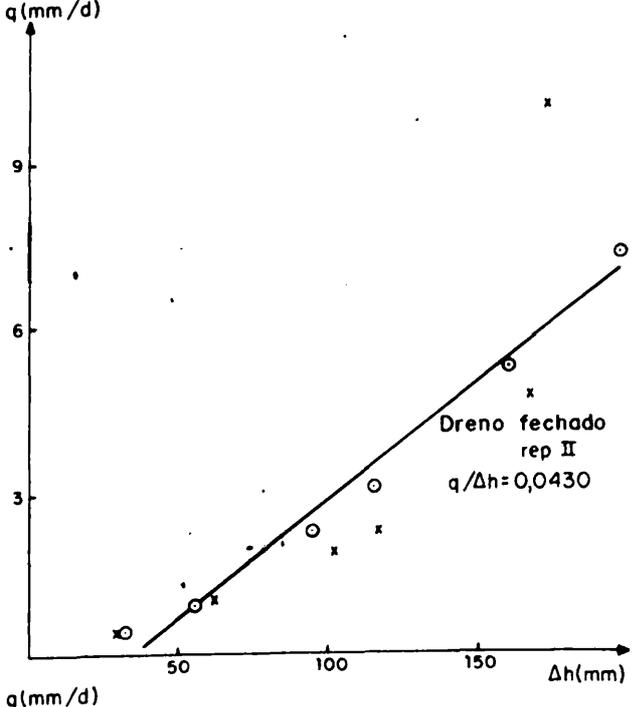
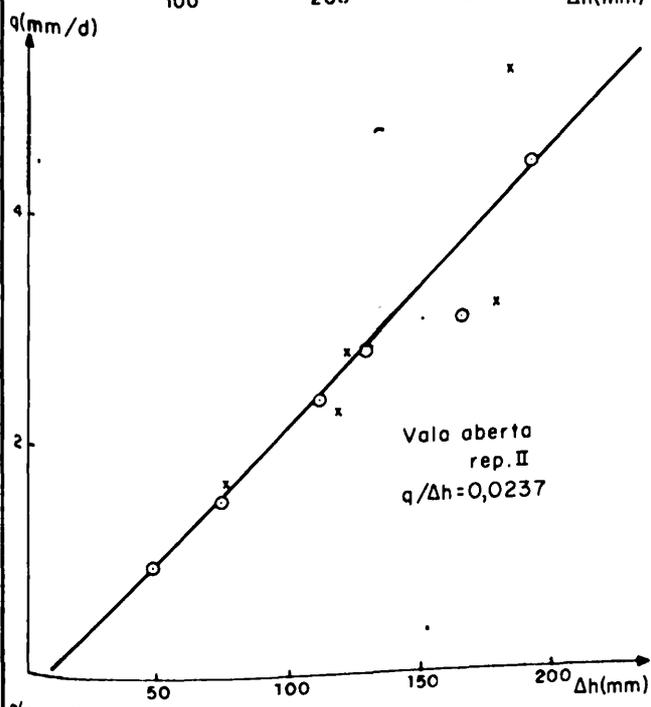
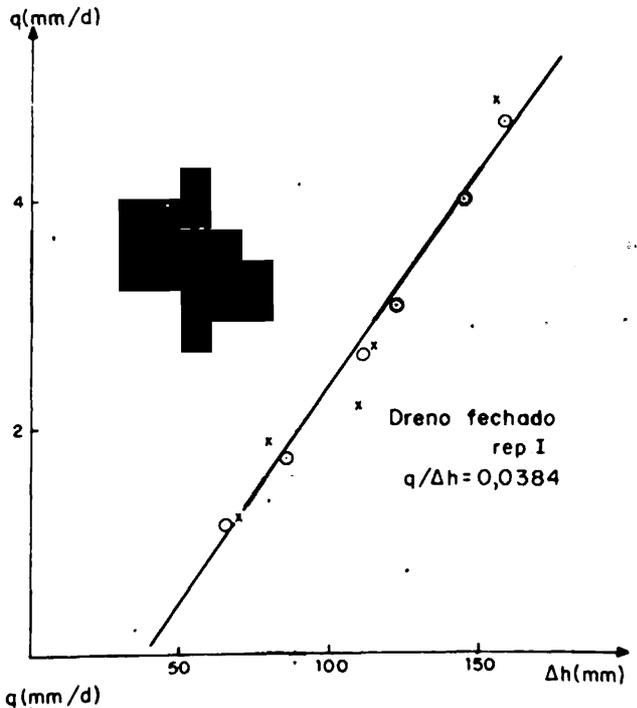
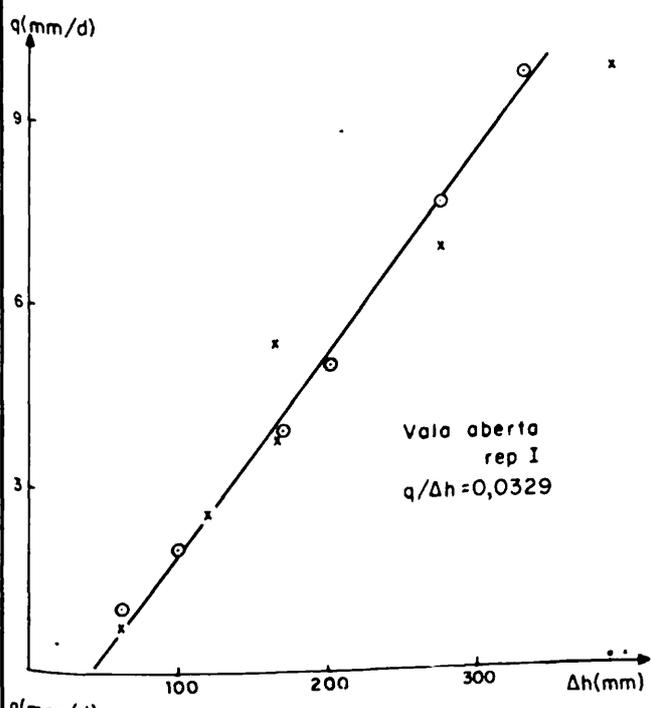


Fig.23 - Curvas de descarga - q x Carga hidráulica. Δh para estudo no regime variável. Período 2 - 24 a 29-Agosto-1977

PONTOS { ○ - normais
x - experimentais

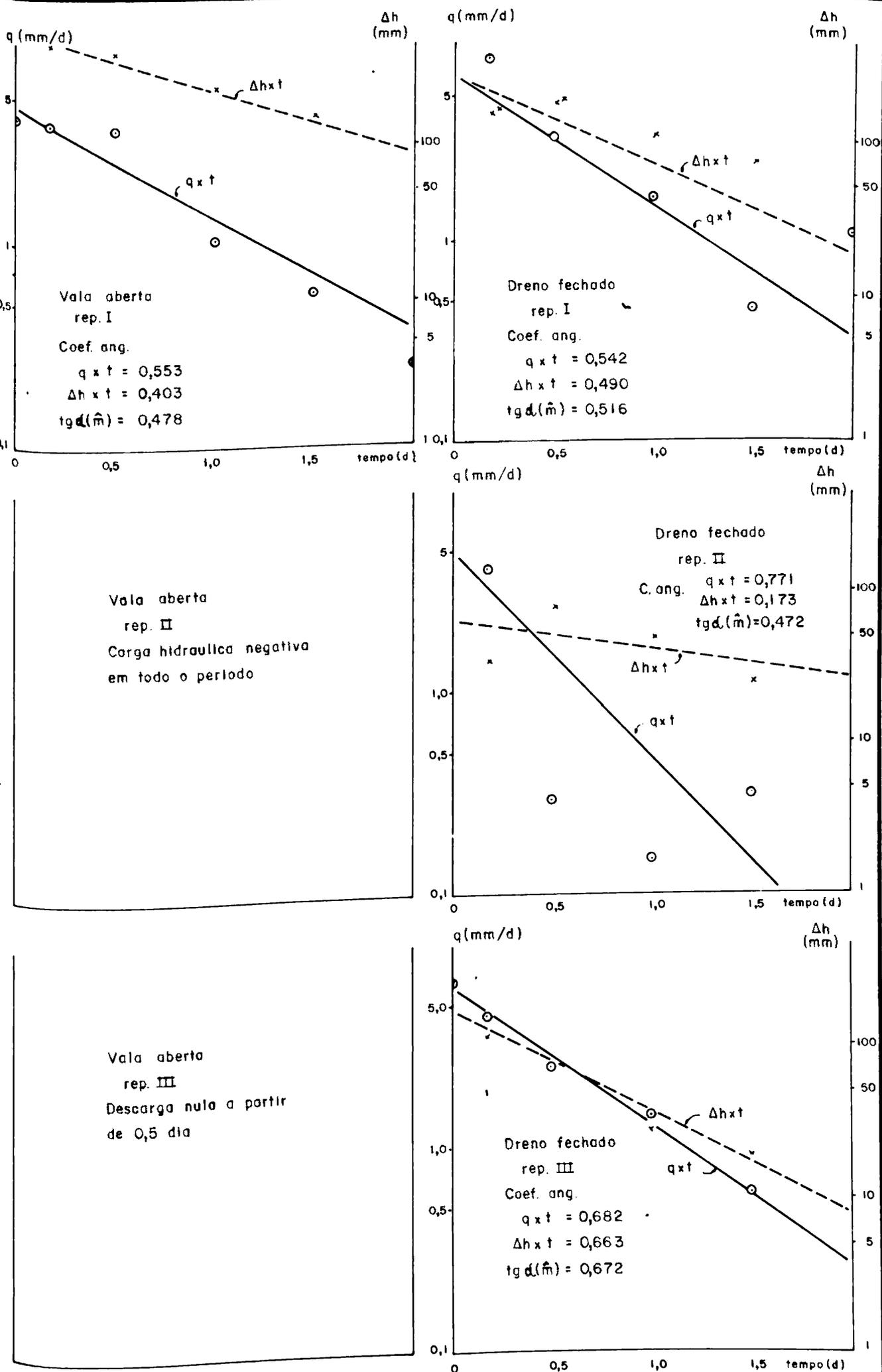


Fig. 24

Curvas de descarga q e carga hidráulica Δh - versus tempo (escala semi-log.)
 Período 5-31 out a nov. 1977.

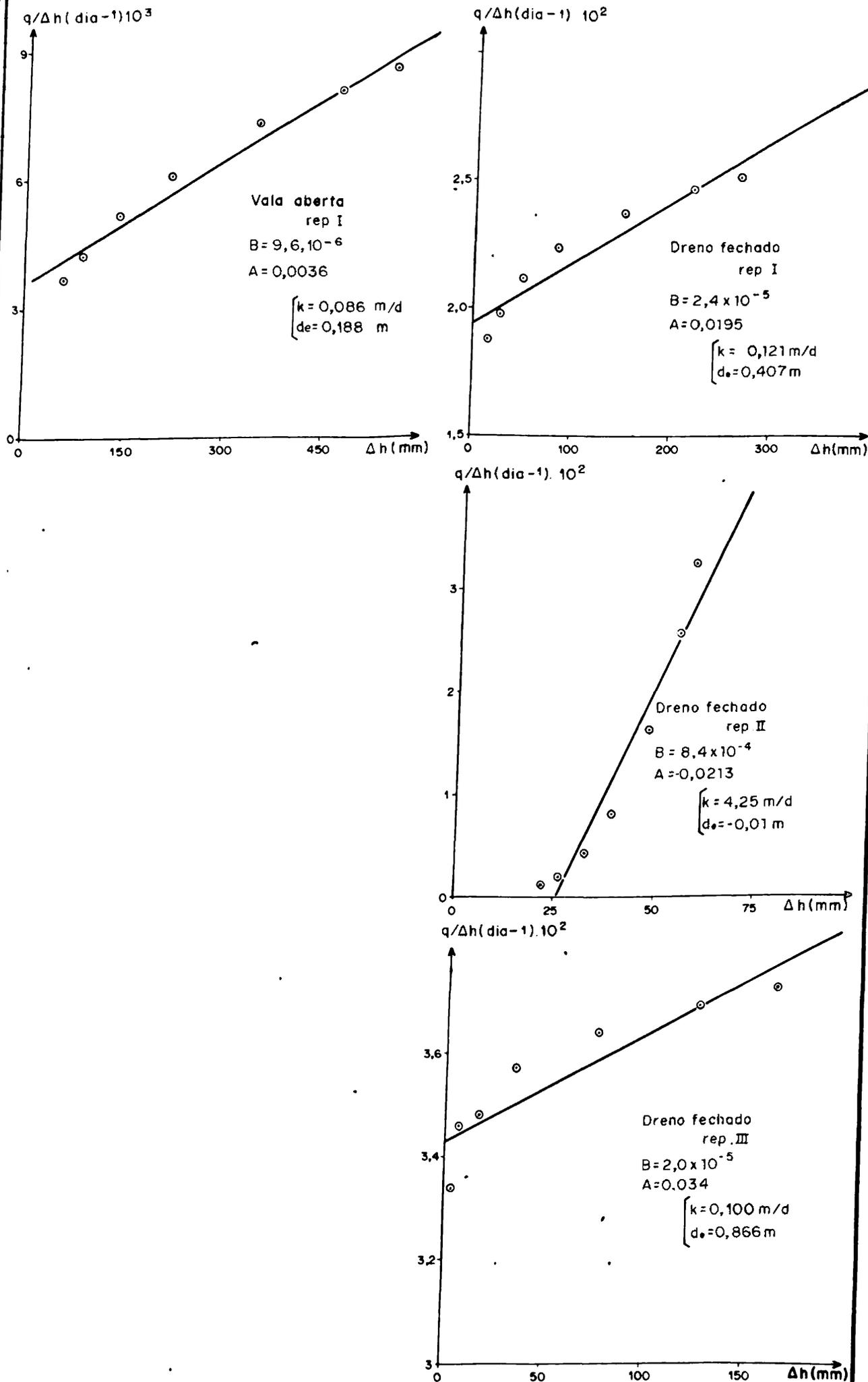


Fig.25 - Curvas $q/\Delta h \times \Delta h$ para estudo baseado no regime permanente
 Período 5-31 OUT a 4-NOV / 1977.

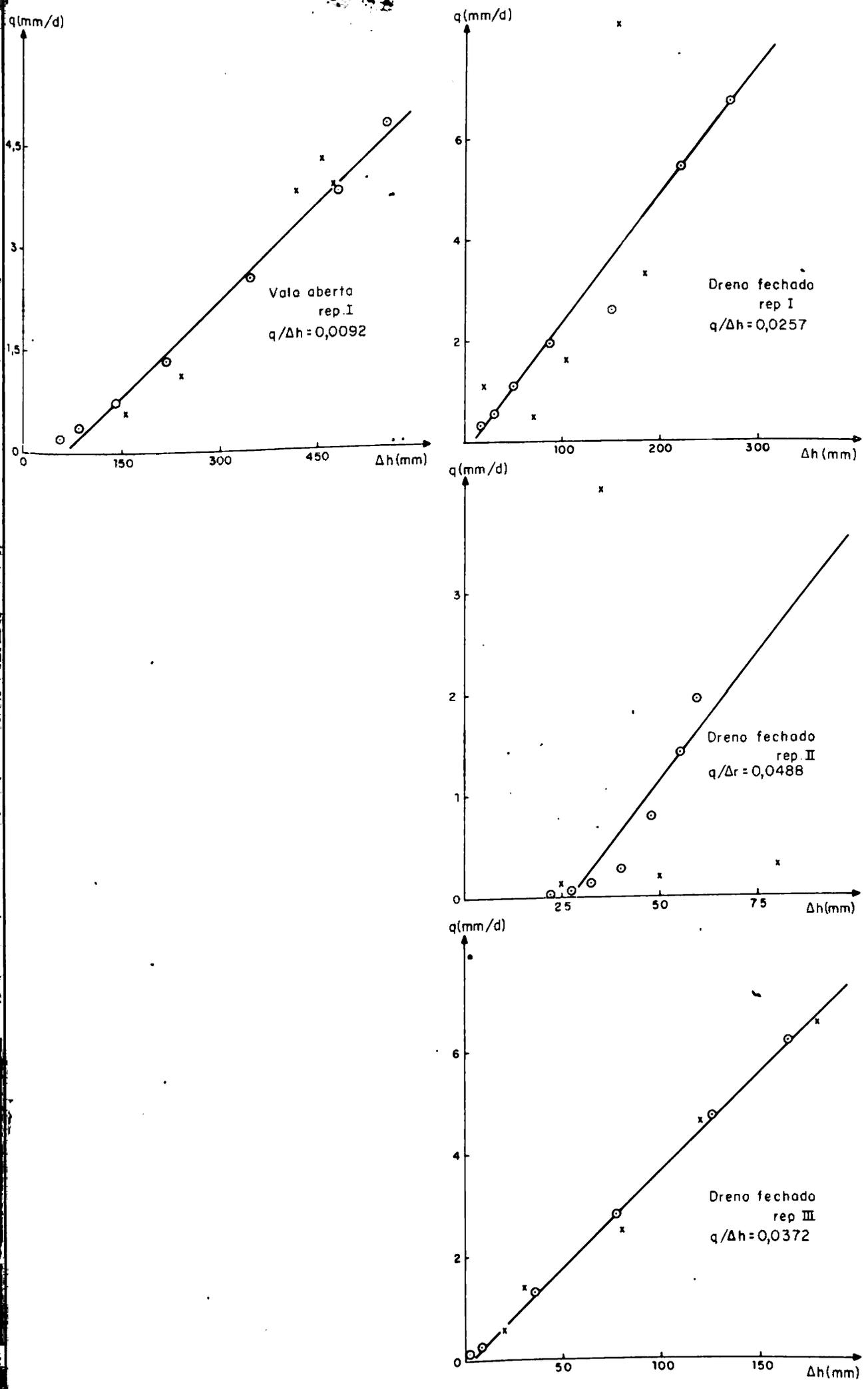


Fig 26 - Curva de descarga - q - x Carga hidráulica, Δh para estudo no regime variável Período 5-31-OUT a 4-NOV / 1977

PONTOS: \circ - normais
 \times - experimentais

Tabela 3. Valores calculados da condutividade hidráulica - K e da porosidade drenável - Pd no regime variável.

trat.:	2 - valas abertas				3 - drenos fechados			
	I	II	III	média (*)	I	II	III	média (*)
rep.:								
<u>período 1 - de 17 a 22 de agosto de 1977.</u>								
K (m/d)	0,20	0,19	0,06	0,15 (0,09)	0,27	0,32	0,59	0,40 (0,17)
Pd (%)	5,2	4,5	1,3	3,7 (2,1)	6,1	6,3	19,0	10,5 (7,4)
<u>período 2 - de 24 a 28 de agosto de 1977.</u>								
K (m/d)	0,30	0,22	0,06	0,19 (0,12)	0,32	0,36	0,37	0,35 (0,02)
Pd (%)	9,8	8,8	1,7	6,8 (4,4)	17,8	9,6	12,8	13,4 (4,1)
<u>período 5 - de 31.out a 4.nov de 1977.</u>								
K (m/d)	0,08	--	--	0,08 (-)	0,22	0,42	0,32	0,32 (0,10)
Pd (%)	1,3	--	--	1,3 (-)	3,4	7,2	3,8	4,8 (2,1)

(*) - desvio padrão da média.

- relações utilizadas:

$$K = \frac{\alpha}{\Delta h} \cdot \frac{S^2}{2\pi} \cdot \frac{1}{d_e}$$

$$e, \quad Pd = \frac{\pi^2 K d_e}{S^2} \cdot \frac{1}{2,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

sendo: $\alpha / \Delta h$ = coeficiente angular da curva $q - \Delta h$

$\operatorname{tg} \alpha$ = coef. ang. das curvas $\log q \times t$ e $\Delta h \times t$

S = espaçamento (6000 e 4500 mm respectivamente para valas abertas e drenos fechados)

d_e = profundidade equivalente (630 e 380 mm respectivamente para valas abertas e drenos fechados).

A produção de matéria seca total realizada mostra claramente as diferenças entre os tratamentos, como já foi comentado.

d. maturação: das fotos 7, 8 e 9, onde se pode observar a cultura no início da maturação, observamos a diferença entre os tratamentos drenados e não drenados. Observa-se também o início do secamento das plantas, o que acarretou um definhamento da cultura após 30 dias, causado por fatores não determinados.

4.4. Efeito da drenagem nas propriedades físicas do solo.

As propriedades físicas do solo foram determinadas com base na análise de perfis, de onde foram distinguidos 4 horizontes, descritos a seguir:

- hor. 1 - 0 a 12,5 cm. horizonte superficial com estrutura diferenciada pelo trabalho de máquinas e implementos.
- hor. 2 - 12,5 a 25 cm; se apresenta com uma maior densidade e uma maior compactação.
- hor. 3 - 25 a 120 cm; horizonte de menor densidade, de coloração característica (diferente dos dois superiores) presença de bolsões de areia; cor característica de um horizonte onde há frequentes variações do lençol freático.
- hor. 4 - abaixo de 120 cm; horizonte de menor permeabilidade, coloração característica de uma camada menos

Tabela 4. Produção de matéria seca total da cultura da aveia (*A. sativa*).

- amostragem realizada no florescimento:

trat.:	testemunha	valas abertas	drenos fechados
I	1,34	8,88	7,89
II	1,76	6,16	4,58
III	1,70	15,10	8,84
média	1,76	10,04	7,10
(desvio)	(0,07)	(3,74)	(2,24)

-em toneladas/hectare.

- análise de variância:

C.V.	g.l.	SQ	QM	F
tratamentos	2	105,70	52,85	6,09*
resíduo	6	52,06	8,68	
total	8	157,75		

* - significativo ao nível de 5%



Foto 7 - Cobertura vegetal no tratamento 1
- testemunha sem drenagem -



Foto 8 - Cobertura vegetal no tratamento 2
- valas abertas -



Foto 9 - Cobertura vegetal no tratamento 3

permeável; observado com auxílio de um trado, sem serem realizadas análises físicas.

A tabela 5 nos apresenta as propriedades físicas determinadas em laboratório e em campo. Das propriedades físicas apresentadas nesta tabela, observamos a maior densidade no horizonte 2, o que vem a confirmar a análise dos perfis realizada anteriormente.

Dos valores apresentados na tabela 5, observa-se que não há diferenças entre os tratamentos. As diferenças notadas devem ser cuidadosamente analisadas, pois podem ter origem em alguma diferença dentro do campo experimental ou ser causada pelo diferente preparo do solo das parcelas. Os dados serão confiáveis após uma série de observações ao longo do tempo quando os efeitos da drenagem puderem ser observados.

Tabela 5. propriedades físicas do solo.

trat.	profundidade cm	granulometria			classif. textural	densidades		porosi- dade %	Umidade Gravim.		Cond. Hidr. m/c	Veloc. Infil- tração m/d
		% argila	% silte	% areia		solo g/cm ³	partic g/cm ³		0,3 atm	11 atm		
-1-	0,0- 12,5	13,9	39,4	46,7	franco	1,68 0,02	2,62 0,04	35,0	17,3 0,2	15,2 0,4		
TESTE	12,5- 25,0	14,7	24,8	43,5	franco	1,70 0,03	2,60 0,01	34,6	15,1 0,5	13,0 0,6	0,26	0,03
MUNEA	25,0-120,0	15,5	41,4	43,1	francô	1,60 0,11	2,67 0,04	40,1	15,1 4,2	14,2 4,0		
-2-	0,0- 12,5	9,3	40,7	50,0	franco	1,60 0,06	2,60 0,04	37,5	16,1 0,4	11,7 2,3		
VALA	12,5- 25,0	9,7	37,0	53,3	fr.arenoso	1,76 0,05	2,63 0,02	33,1	15,3 3,0	9,7 2,3	0,25	0,06
LABIR- TA	25,0-120,0	10,6	37,2	52,2	franco	1,81 0,01	2,61 0,02	30,7	14,1 2,9	11,2 1,5		
-3-	0,0- 12,5	9,2	30,8	61,0	fr.arenoso	1,61 0,13	2,59 0,03	37,0	17,0 0,9	14,0 0,5		
DEINO	12,5- 25,0	15,3	30,6	53,6	franco	1,61 0,03	2,64 0,05	39,0	16,1 0,4	11,9 0,9	0,14	0,04
FECHA	25,0-120,0	17,1	32,1	50,8	franco	1,65 0,03	2,61 0,02	36,6	15,0 0,5	11,6 0,2		

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseado no que foi observado durante os estudos, chegou-se as seguintes conclusões e recomendações:

1. O lençol freático respondeu a contento quando da presença ou não de sistemas de drenagem, mantendo-se elevado nas parcelas não drenadas e elevando-se e baixando rapidamente nas parcelas com drenagem.

2. Em sistemas de drenagem recém instalados, os drenos fechados admitem um funcionamento característico, portandose como valas abertas. Segundo as informações bibliográficas o problema tende a desaparecer a médio prazo, dependendo do material de enchimento utilizado nestas.

3. Em decorrência do item anterior, durante as observações realizadas, as parcelas com drenos fechados apresentaram valores de carga hidráulica menores que as parcelas com valas abertas, havendo clara influência do espaçamento.

4. O grau de umidade anterior à precipitação e a lâmina d'água precipitada sobre a parcela influenciam diretamente na elevação do lençol freático e, possivelmente, também na descarga das valas e drenos.

5. Havendo condições meteorológicas favoráveis à perda de água por evapotranspiração, um ou dois dias após a recarga o abaixamento do lençol freático é devido mais a evapotranspiração que a drenagem propriamente dita.*

6. O estudo das descargas das valas e drenos e da carga hidráulica no regime permanente são possíveis quando a variação destas é mínima, ou seja, quando não há perdas por evapotranspiração ou escoamento superficial imediato, caso contrário o regime variável deve ser considerado.

7. Do estudo mencionado no item anterior, baseado no regime variável, o valor médio dos parâmetros para planossolos da unidade de mapeamento Vacacaí em uma primeira observação, pode ser considerado igual a:

- condutividade hidráulica, $K = 0,17 \text{ m/d}$
- porosidade drenável, $P_d = 5,2 \%$

8. Não foram observados diferenças significativas nas propriedades físicas do solo que possam ser atribuídas à drenagem. Segundo informações bibliográficas, só serão significativas a longo prazo.

9. Recomendamos a continuidade do presente trabalho com a ampliação do número de piezômetros, de tal forma que haja uma confirmação das leituras, e a duplicação das linhas de piezômetros ao longo das valas e drenos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTHOFF, Darci Antonio. 1977. Levantamento detalhados de solos, climatologia e hidrologia para diagnosticar e apresentar soluções em áreas com problemas de drenagem. Porto Alegre, UFRGS. 165f. Diss. (mestr. hidrol. apl.) UFRGS - Curso Pós-Grad. Hidrol. Apl., Porto Alegre, BR- RS, 1977.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO RIO GRANDE DO SUL. 1976. Agropecuária; dados de 1972 a 1975. Porto Alegre, ~~3/3~~, t. 1.

BARRETO, I. 1977. Instalação da cultura teste. ..Contato pessoal mantido na Faculdade de Agronomia da UFRGS /.

BAVER, L.; GARDNER, Walter H; GARDNER, Wilford R. 1973. Eficiência de suelos. México, UTEHA. 529p.

BEERS, W. F. J. Van. 1972 Soil and soil properties. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. Drainage principles and applications. Wageningen. v. 1, chap.2, p. 33-73.

BERGAMASCHI, H. & BERLATO, M. A. 1974. Efeitos de tratamentos de drenagem na produção de duas cultivares de soja; em terras de arroz. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre

gre, 10 (1): 73-85.

114

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. 1973. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Recife. 43lp. (Divisão de Pesquisa Pedológica. Boletim Técnico n. 30)

BROUGHTON, Robert S. 1972. The performance systems on two Saint Lawrence lowland soils. s.l., s.ed. 215p. Tese (Ph.D. - Soil Science) McGill University, Montreal, 1972.

BULLETIN TECHNIQUE D'INFORMATION. 1972. Assainissement et drainage. Paris (271/272) juil./août. Numéro Spécial.

CAUDURO, Flávio Antonio & RAMOS, Paulo Dias de Castro. 1971 Manual de laboratório; determinação das constantes físicas e hidrodinâmicas dos solos. /Porto Alegre/ Faculdade de Agronomia da UFRGS. 61f.

CASTILLO, Francisco Elias & ORTIZ, Rafael Gimenes. s.d. Precipitación y capacidad de las redes de desaguo. I.N. de Investigaciones agronómicas, 24(50): 103-20.

COFFMAN, F. A. & FREY, K. J. 1961. Influence of climate and physiologic factors on growth in oats. In: -. Oat and oats improvement. Wisconsin, American Society of Agronomy. chap. 12

- DIELEMAN, P. J. 1974. Deriving soil hydrological constants from field drainage tests. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. Drainage principles and applications. Wageninge . v.3, chap. 26, p.329-50.
- DIELEMAN, P. J. & RIDDER, N.A. de. 1974. Elementary groundwater hydraulics. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. Drainage principles and applications. Wageningen. v.1, chap.6, p.153-99.
- FAUSEY, N.R. & SCHWAB, G.O. 1969. Soil moisture content, tilth and soybean (*Glycine max.*) response with surface and subsurface drainage. Agronomy journal, Madison, Wis, 61: 554-7.
- FORSYTHÉ, W. 1975. Física de suelos. Costa Rica, IICA. 212 p.
- GOINS, T. & TAYLOR, G. S. 1959. Drain depth and spacing effects on water removal from a Gray- Brown Podzolic soil Proceedings. Soil Science Society of America, Madison, Wis., 23: 413-8.
- GOMES, Frederico Pimentel. 1973. Curso de estatística experimental. 5. ed. Piracicaba, Nobel. 430p.

GOULART, Jau Paulo. 1975. Ensaio de drenagem subterrânea em solo da planície arrozeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS. 23f. Diss. (mestr. hidrol. apl.) UFRGS - Curso Pós - Grad. Hidrol. Apl., Porto Alegre, BR-RS.1975.

HILLEL, Daniel. 1970. Solo e água; fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, UFRGS. 231p.

HOOGHOUTD, S.B. 1952. Tile drainage and subirrigation. Soil Science, Baltimore, Md., 74: 35-48.

HUNDALL, S.S., et alii. 1976. Drainage system effects on physical properties of a lakebed clay soil. Proceedings. Soil Science Society of America, Madison, Wis., 40:300-5.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT 1972-4. Drainage principles and applications. Wageningen. 4v.

KESSLER, J. & OOSTERBAAN, R.J. 1974. Determining hydraulic conductivity of soils. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. Drainage principles and applications. Wageningen. v.3, chap.24, p.253-96.

KIRKHAM, D. & DE ZEEUW, J. W. 1952. Field measurements for tests of soil drainage theory. Proceedings. Soil Science

Society of America, Madison, Wis., 15:289-93.

LAYTON, L. & YADAV, J.S.P. 1960. Effect of drainage on certain physical properties of a heavy clay soil. Journal of Soil Science, London, 11(2):305-12.

LUTHIN, James N. 1967. Drenaje de tierras agrícolas. México. Limusa Wiley. 684p.

LUTHIN, James N. 1973. Drainage engineering. New York, R. E. Krieger. 250p.

MILLAR, Augustin. 1978. Drenagem de terras agrícolas. São Paulo, McDraw-Hill do Brasil. 276p.

PIZZARRO, Fernando. 1976. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Fortaleza, SUDENE. 466p.

RICHES, A.A. 1971. Efeito da irrigação e drenagem em três épocas de semeadura na cultura do milho em resteva de arroz. Porto Alegre, UFRGS - 140 f. Diss. (mestr. - agrôn. solos) UFRGS-Fac. Agron., Porto Alegre, BR-RS, 1971.

SCHILFGAARDE, Jan Van, ed. 1974. Drainage for agriculture. Madison, Wis., American Society of Agronomy. 700p. (Agronomy, 17).

SCHWAB, G.O. et alii. 1957. Effect of tile spacing on crop yield and water table in planasol soil. Proceedings. Soil Science Society of America. Madison, Wis., 21:448.52.

WESSELING, J. 1973. Subsurface flow into drains. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. Drainage principles and applications. Wageningen. v.2, chap.8, p.1-56.

WILLIAMSON, R.E. & KRIZ, G.T. 1970. Response of agricultural crops to flooding, dept of water table and soil gaseous composition. Transactions of the ASAE, 13(2): 216-20.

WOUDT, Bessel D. Van't & HAGAN, Robert M. 1967. Respuestas de los cultivos a riveles excesivamente elevados de humedad del suelo. In: LUTHIN, James N. Drenaje de tierras agrícolas. Mexico, Limusa-Wiley. p.571-645.

- 7 -

APÉNDICES

Apendice 1. Dados obtidos de descarga de valas e drenos e carga hidráulica nos períodos de estudo.

a. período 1 - de 17 a 22 de agosto de 1977.

dia:	18/08	18/08	19/08	19/08	20/08
hora:	10:00	17:00	8:00	17:00	17:00
tempo (d):	0,71	1,00	1,63	2,00	3,00
Trat.: rep.:	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh
vala I	10,5 490	9,1 450	6,0 168	4,9 155	2,6 85
aberta II	5,6 235	4,2 192	2,5 105	1,8 93	1,2 40
III	3,5 330	1,4 272	0,5 128	0,4 115	0,4 60
média	6,5 353	4,9 305	3,0 134	2,4 121	1,4 62
dreno I	6,8 157	5,2 155	3,2 88	2,2 68	1,3 20
fecha II	9,0 145	6,2 140	1,8 72	1,6 48	1,3 15
do III	2,6 45	1,5 25	0,8 5	0,9 10	0,7 10
média	6,1 116	4,3 107	,, 55	1,6 42	1,1 15

b. período 2 - de 24 a 28 de agosto de 1977.

dia:	24/08	24/08	25/08	25/08	26/08	27/08
hora:	8:00	17:00	8:00	17:00	17:00	17:00
tempo (d):	0,63	1,00	1,63	2,00	3,00	4,00
Trat.: rep.:	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh
vala I	9,9 388	6,9 270	5,4 165	3,6 165	2,1 118	0,9 65
aberta II	5,2 185	3,2 178	2,8 122	2,3 118	1,7 75	0,0 30
III	1,5 290	1,5 278	1,0 198	0,9 203	0,3 125	0,2 58
média	5,5 288	3,9 242	3,1 162	2,3 162	1,4 106	0,4 51
dreno I	6,5 108	4,9 155	2,7 115	2,2 110	1,9 80	1,2 70
fecha II	10,1 173	4,8 168	2,3 118	1,9 103	1,0 63	0,4 30
do III	3,4 65	2,7 45	2,0 20	1,9 17	1,2 13	1,0 5
média	6,7 115	4,1 123	2,3 84	2,0 77	1,4 52	0,9 35

-continua...

Apendice 1. ...continuação

c. período 3 - de 06 a 10 de setembro de 1977.

dia:	07/09	08/09	08/09	09/09	09/09	10/09
hora:	17:00	6:30	17:00	8:00	17:00	17:00
tempo (d):	0,40	0,96	1,40	2,02	2,40	3,40
Trat.: rep.:	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh	Q Δh
vala I	10,1 352	2,9 350	1,8 135	0,9 135	1,1 120	0,4 62
abert_ II	5,0 0	1,1 0	0,5 0	0,8 0	0,8 0	0,6 0
ta III	2,1 0	0,4 0	0,2 0	0,2 0	0,2 0	0,1 0
média	5,7 117	1,5 117	0,8 45	0,6 45	0,7 41	0,4 21
dreno I	11,1 0	2,2 0	1,7 62	0,9 8	0,5 10	0,4 0
fecha_ II	7,3 55	1,8 120	0,7 105	0,6 72	1,9 55	0,3 20
do III	4,6 32	1,8 28	1,2 20	1,1 8	1,0 8	0,2 0
média	7,7 29	1,9 49	1,2 62	0,9 29	1,1 24	0,3 7

d. período 5 - de 31.outubro a 4.novembro de 1977.

dia:	01/11	01/11	01/11	02/11	02/11	03/11
hora:	7:00	11:00	19:00	7:00	18:00	7:00
tempo (d):	0,0	0,17	0,50	1,00	1,46	2,00
Trat.: rep.:	Q Δh					
vala I	4,3 455	3,9 475	3,3 415	1,1 240	0,6 155	0,5 0
abert_ II	5,7 0	1,7 0	0,5 0	0,5 0	0,3 0	0,3 0
ta III	3,9 445	0,4 440	0,0 2,5	0,0 110	0,0 110	0,0 30
média	4,6 300	2,0 305	1,4 210	0,5 137	0,3 88	0,3 10
dreno I	11,7 0	8,3 155	3,3 185	1,6 105	0,5 70	1,1 20
fecha_ II	9,1 0	4,1 35	0,3 80	0,2 50	0,3 25	0,4 0
do III	6,5 180	4,6 120	2,5 80	1,4 30	0,6 20	0,6 0
média	9,1 60	5,7 103	2,0 115	1,1 62	0,5 38	0,7 7

continua...

Apêndice 1. ... continuação.

e. período 4 - de 25 a 30 de outubro de 1977. -IRRIGAÇÃO -

e1. repetição I

dia:	27/10	27/10	28/10	28/10	28/10	29/10
hora:	22:00	24:00	6:30	12:00	18:00	18:00
tempo (d):	0,0	2,0	8,5	14,0	20,0	44,0
	<u>Q</u> <u>Δh</u>					
v. aberta	41,9 12	13,3 135	4,4 120	1,0 182	0,2 120	1,2 5
dr.fechado	37,3 0	17,4 0	8,5 0	3,1 0	0,4 0	0,6 0

e2. repetição II

dia:	25/10	26/10	26/10	26/10	26/10	27/10
hora:	22:30	0:30	6:30	13:00	17:00	8:00
tempo (d):	0,0	2,0	8,0	14,5	18,5	33,5
	<u>Q</u> <u>Δh</u>					
v. aberta	44,3 0	6,2 0	1,9 0	0,3 0	0,1 0	0,2 0
dr.fech.	19,4 0	5,6 0	0,7 0	0,2 0	0,1 0	0,2 0

e3. repetição III

dia:	25/10	25/10	25/10	25/10	25/10	26/10
hora:	1:00	3:00	7:00	11:00	19:00	17:00
tempo (d):	0,0	2,0	6,0	10,0	18,0	40,0
	<u>Q</u> <u>Δh</u>					
v.aberta	9,8 0	2,5 0	1,9 0	1,5 0	0,8 0	0,2 0
dr.fech.	2,7 0	2,6 0	0,4 0	0,2 0	0,2 0	0,3 0

Apêndice 2. Valores determinados de Condutividade Hidráulica - método do Auger Hole invertido.

trat.:	testemunha	valas abertas	çrenos fechados
I	0,14	0,36	0,21
II	0,10	0,29	0,11
III	0,45	0,09	0,11
média	0,26	0,25	0,14
(desvio)	(0,17)	(0,14)	(0,06)

- análise de variância

C.V.	g.l.	SQ	QM	F
tratamentos	2	0,024	0,012	
resíduo	6	0,102	0,017	0,706**
total	8	0,126		

** diferença significativa ao nível de 1%.

Apendice 3. Valores determinados da Velocidade de Infiltração entre 120 e 180 minutos, baseado na equação de KOSTIAKOV - método dos aneis concentricos.

trat.: rep.:	testemunha	valas abertas	órenos fechados
I	0,16	0,05	0,04
II	0,02	0,09	0,04
III	0,06	0,04	0,05
média	0,03	0,06	0,04
(desvio)	(0,97)	(0,93)	(0,91)

-- análise de variância

<u>C.V.</u>	<u>g.l.</u>	<u>SQ</u>	<u>QM</u>	<u>F</u>
tratamentos	2	0,002	0,001	0,50**
resíduo	6	0,012	0,006	
total	8	0,014		

** significativo ao nível de 1%.