

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO ECONÔMICO SIMPLIFICADO DE CINCO  
DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTO  
DE CANAIS DE IRRIGAÇÃO

por

MÉLLIA DELABIANCA ARAÚJO

CAMPINA GRANDE, PARAÍBA

NOVEMBRO - 1976



A663e Araújo, Méllia Delabianca.  
Estudo econômico simplificado de cinco diferentes tipos de revestimento de canais de irrigação / Méllia Delabianca Araújo. - Campina Grande, 1976.  
74 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1976.  
"Orientação : Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra".  
Referências.

1. Canais - Irrigação. 2. Canais - Revestimento. 3. Perdas de Água - Infiltração. 4. Dissertação - Ciências. I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 626.82(043)

ESTUDO ECONÔMICO SIMPLIFICADO DE CINCO  
DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTO  
DE CANAIS DE IRRIGAÇÃO

**MELLIA DELABIANCA ARAÚJO**

- Engenheiro Agrônomo -

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

**Aprovado por:**

COMISSÃO

---

Presidente

---

---

CAMPINA GRANDE  
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL  
NOVEMBRO - 1976

*Ao meu Esposo e Filhas*

A G R A D E C I M E N T O S

A autora sensibilizada agradece:

Ao professor Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, seu orientador, por sua valiosa ajuda na planificação, orientação, desenvolvimento e correção da tese;

Ao seu esposo Dr. Mauro Araújo Bezerra, pelo empenho nos trabalhos de campo e constante incentivo;

Ao Banco do Nordeste do Brasil S/A e à Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro recebido para realização deste trabalho;

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, de modo especial ao Departamento de Engenharia Civil, pelo apoio básico oferecido;

A Dra. Vania Vilar Sampaio, pela sua prestação na revisão de português deste trabalho;

Ao Sr. João de Oliveira Pereira, pelo eficiente trabalho de datilografia;

Aos seus professores, colegas, funcionários, pedreiros, serventes e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## R E S U M O

O presente trabalho foi desenvolvido no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em Campina Grande, Paraíba. Os objetivos deste foram analisar o comportamento de alguns tipos de revestimento de canais, visando uma minimização das perdas de água por infiltração, testar esses revestimentos quanto à sua resistência à ação erosiva da água e finalmente fazer um estudo de viabilidade econômica dos mesmos.

Para estudar-se as perdas de água por infiltração, construiu-se quatro canais estáticos revestidos com solo-cimento plástico, brita 19 (cascalhinho), solo natural compactado (testemunha) e membrana de plástico (polietileno). Adotou-se o método da bacia (ponding), para determinar a infiltração da água nos canais. O tempo experimental para os canais estáticos foi de 103 dias, distribuídos entre períodos secos e mo

lhados alternadamente. Nenhuma influência significativa foi verificada na infiltração dos canais, em consequência dessa variação.

A erosão foi determinada no final do escoamento de cada vazão, através de leituras feitas nas partes expostas das piquetas de aço instaladas na base e nos taludes dos canais.

Incorporou-se neste trabalho, algumas informações sobre revestimentos com bentonita, trabalho realizado por Queiroga & Ferreira (1974) ainda não publicado.

O método utilizado para o estudo de viabilidade dos revestimentos testados, foi o recomendado por G.P. South do Bureau of Reclamation, Salt Lake City, Utah, U.S.A.

Durante o período em que os canais permaneceram molhados (63 dias), observou-se uma infiltração acumulada de 0,0; 23,3; 165,7; e 457,1 cm/dia para os canais revestidos com plástico, solo-cimento plástico, brita e solo natural compactado, respectivamente.

Nos canais dinâmicos, apenas o testemunha foi afetado pelo movimento da água, chegando a atingir uma erosão acumulada de 37 mm.

Dentre os revestimentos estudados, o solo-cimento plástico foi o que melhores resultados apresentou. Em seguida foram os revestimentos de brita, bentonita e por último o plástico.

## S U M M A R Y

The present work was conducted at the Center of Sciences and Technology of the Federal University of Paraíba in Campina Grande, PB. The objectives were to make a comparative study of behavior of some canal linings, with respect to water losses by seepage and to determine the economic feasibility of the considered canal linings.

Four irrigation canal linings were used, soil-cement (plastic type), crushed stone (brita), natural compacted soil and plastic sheeting. The experimental study lasted for 103 days, during which the canals were submitted to dry and wet intervals. The seepage was measured by the ponding method. No effect on the seepage process was observed when the canals were submitted to alternate wet and dry conditions. The soil erosion was measured by using small steel nails located at the base and walls of the canals. The economic

feasibility of the canal linings was estimated by using a method recommended by G. P. South of Bureau of Reclamation, Salt Lake City, Utah, U.S.A.

The infiltration measured were 0,0; 23,3; 165,7 and 457,1 cm/day for the plastic, soil - cement, crushed stone and natural compacted soil, respectively. Only the natural compacted soil canal suffered erosion, reaching a value of 37 mm during the whole experimental period.

As a mean of control seepage losses and from the economic viewpoint, the soil-cemente material was the most efficient lining tested followed by the crushed stone, bentonite linings and finally the plastic lining.

I N D I C E

	Página
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
SUMMARY	vi
INDICE	viii
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
A - Eficiência de Irrigação	4
B - Fatores que afetam as perdas de água por infiltração em canais de terra	5
C - Controle das perdas de água por infiltração em canais	7
a - Selantes Químicos	8
b - Revestimentos	8
c - Uso de Argamassas	21

	Página
D - Propriedades dos Revestimen- tos	22
E - Economia dos Revestimentos	28
CAPÍTULO III	
MATERIAIS E MÉTODOS	31
A - Localização dos Testes	31
B - Testes de Infiltração e Ero- são • Metodologia	32
1 - Canais Estáticos	32
2 - Canais Dinâmicos	37
C - Análise Econômica dos Reves- timentos de canais usados	41
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
A - Canais Estáticos	45
B - Canais Dinâmicos	51
C - Análise Econômica dos Reves- timentos de canais usados	59
CAPÍTULO V	
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
BIBLIOGRAFIA	69

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

A eficiência da irrigação está intimamente ligada à eficiência do transporte da água desde os reservatórios ou fontes, até aos pontos em que esta for utilizada pelas culturas.

De um modo geral, nos projetos de irrigação em que a água é conduzida por canais não revestidos, de alta permeabilidade, significantes perdas de água podem ocorrer por infiltração. Isto, além de ocasionar uma baixa eficiência na utilização da água, pode concorrer na elevação do lençol freático, o que poderá eventualmente, provocar um problema de salinização, caso o perímetro irrigado não disponha de um adequado sistema de drenagem.

Um amplo exame das perdas de água por condu

ção e infiltração em canais, nos diferentes países do mundo, indica que, aproximadamente, um terço de toda a água derivada para a irrigação é perdida durante a condução desta ao campo, e, outro terço percola ou é removida através de escoamento su per ficial, durante o processo de aplicação desta. Assim, resta somente um terço da água que é realmente utilizada (ICID, 1967).

O desenvolvimento de revestimentos de canais de baixo custo, é uma das atividades de maior interesse dentro das investigações tendentes a obter uma maior eficiência de irrigação. Embora canais compactados com o próprio solo, se ja um dos métodos mais simples e de baixo custo inicial, apre sentam desvantagens tais como: 1) excessivas perdas por infil tração; 2) pequena velocidade de transporte, e consequentemente grande secção transversal; 3) perigo de rachaduras produzi das pela erosão ou por animais e, 4) condições ótimas para o desenvolvimento de plantas aquáticas que freiam consideravelmente o curso da água e originam altos custos anuais de con servação (ISRAELSEN W. ORSON, 1965).

Se bem que o revestimento de concreto seja o mais usado nos projetos de irrigação, este é de alto custo o que eleva o valor inicial de instalação de um projeto.

Assim, faz-se necessário analisar o comportamento de alguns outros tipos de revestimentos de canais, vi

sando uma minimização das perdas de água por infiltração e fa  
zer um estudo de viabilidade dos mesmos. Estes foram os obje-  
tivos do presente trabalho.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### A - EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO

Sabe-se que nos projetos de irrigação, nem toda água derivada das fontes de abastecimento é totalmente aproveitada pelas plantas. Várias são as modalidades de perdas dessa água, porém as maiores são aquelas causadas por infiltração durante a sua condução. A eficiência de condução da água nos perímetros irrigados, está diretamente relacionada com os meios pelos quais ela é conduzida desde as fontes de captação até atingir as parcelas irrigadas. Quando os sistemas de condução são formados por canais não revestidos ou imprópriamente, as perdas de água por infiltração são signifi

cantes e dependem, entre outros fatores, do tipo de solo em que se encontram localizados os canais. Assim, segundo ISRAEL SEN (1950), as perdas de água por infiltração em canais são de 2, 8 e 15% para os solos de textura argilosa, média e arenosa, respectivamente.

DIRMEYER em 1959, BRISTIAN em 1959 e DUFFIN em 1970, citados por MILLAR (1975), indicam que as perdas de água por infiltração em canais de irrigação construídos de terra é um problema muito sério nos Estados Unidos e países latino americanos. A infiltração, além de causar enormes perdas de água, pode provocar a ascensão do lençol freático e a acumulação de sais na superfície do solo, um problema encontrado comumente em regiões áridas e semi-áridas irrigadas.

## **B - FATORES QUE AFETAM AS PERDAS DE ÁGUA POR INFILTRAÇÃO EM CANAIS DE TERRA**

Os fatores que afetam as perdas de água por infiltração em canais de terra são:

a) Tipo da superfície do canal. Material do qual os canais são feitos, sua permeabilidade e a natureza do revestimento.

b) Tipo de solo que rodeia o canal. Particularmente a permeabilidade desse.

c) A vegetação que cerca o canal. Árvores, arbustos e qualquer outra vegetação que rodeiam o canal, tendem a aumentar as perdas de água por infiltração.

d) Área molhada do canal. Quanto maior for a área molhada, maiores são as perdas de água por infiltração.

e) Frequência no uso do canal. Quanto mais frequente o canal for usado, menores serão as taxas de infiltração, devido aos poros do solo estarem sempre saturados e com o tempo ficarem parcialmente selados. Por outro lado, em um canal que é usado somente durante curtos tempos, ou intermitente com longos intervalos, a superfície seca tem que ser submetida novamente a um ciclo de saturação, afetando assim a infiltração.

f) Idade do canal. Num grande número de canais, particularmente aqueles provenientes de rios em solos aluviais, é observado que as perdas de água por infiltração diminuem à medida que aumenta a idade do canal. Isto é devido ao selamento natural da área molhada por silte fino, carregado pela água que flui do rio original.

g) Condições climáticas nas quais os canais operam. A temperatura da água e do solo afetam a taxa de infiltração. Em meses secos a taxa de infiltração deverá ser

maior devido a água ao redor do solo se evaporar facilmente e assim a taxa de infiltração do canal aumentar para substituir esta água.

h) A quantidade de sedimentos contida na água e seu grau. Quanto maior a quantidade de sedimentos e quanto mais fino for o seu grau, maior é o selamento dos poros do solo e conseqüentemente menor é a infiltração nos canais.

i) A profundidade da água no canal. Quanto maior a profundidade da água do canal, maior será a taxa de infiltração.

j) Profundidade do lençol freático. A profundidade do lençol freático controla o gradiente hidráulico através do solo, e, este por sua vez, controla a taxa de infiltração.

k) Outros fatores. Percentagem de ar retido no solo, tensão capilar do solo, pressão barométrica, química do solo e da água, intensidade da drenagem artificial e relativa localização de canais de irrigação (ICID 1967).

### **C - CONTROLE DAS PERDAS DE ÁGUA POR INFILTRAÇÃO EM CANAIS**

As perdas de água por infiltração em canais

podem ser controladas mediante os seguintes métodos:

- a) Selantes Químicos
- b) Revestimentos
- c) Uso de Argamassas

a) Selantes Químicos - As perdas de água por infiltração em canais não revestidos podem ser reduzidas pelo tratamento com impermeabilizantes químicos. Destes, têm sido usados com sucesso, por técnicos do Instituto Agronômico de São Paulo, a soda cáustica, o carbonato e silicato de sódio, nas diluições, em água de três a seis por mil. A concentração mais indicada depende da natureza do solo e pode ser determinada por meio de ensaios de laboratório. O tratamento é feito regando-se as paredes e o fundo do canal com a solução impermeabilizante, podendo o canal entrar em serviço uns três dias após o tratamento (DAKER, 1970).

b) Revestimentos - De acordo com o LABORATÓRIO DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DOS ESTADOS UNIDOS (1962), os diferentes tipos de revestimentos são classificados em:

1. Superfície resistente. Concreto, concreto asfáltico, asfalto pré-fabricado, pedras, solo-cimento e blocos.

2. Membranas enterradas. Asfalto espalhado, asfalto pré-fabricado, plástico e bentonita.

3. Revestimentos de terra. Terra solta, terra compactada e terra com processos de sedimentação.

#### 1 - REVESTIMENTOS COM SUPERFÍCIE RESISTENTE

1.1 - REVESTIMENTOS COM CIMENTO PORTLAND - atualmente, os revestimentos com cimento Portland têm sido bastante usados tendo em vista ser um dos tipos mais difundidos, de grande resistência e durabilidade. LAURITZEN (1956), enfatiza que a única razão de se usar outros revestimentos de canais, é o custo elevado do revestimento de concreto. Os revestimentos de concreto, possuem excelentes propriedades hidráulicas, são resistentes e diminuem os problemas de conservação e manutenção. Considerando a longa duração destes revestimentos e os baixos custos de manutenção, ele concluiu que o seu emprego se torna mais barato do que aqueles considerados de baixo custo.

LAURITZEN et alii (1956), asseguram que os revestimentos com cimento Portland, dada a sua maior resistência de superfície, permitem esboçar canais para maiores velocidades com o qual o perímetro dos mesmos é reduzido em grande percentagem, diminuindo assim, a quantidade de material necessário para o revestimento e portanto os custos de escavação. Este aspecto, juntamente com maior duração e resistência a agentes químicos, físicos e climáticos, constituem antecedentes de relevante importância na análise econômica ao ser sele

cionado o revestimento.

1.2 - REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS - outro material de revestimento, de grande emprego atualmente, é o asfalto, o qual pode ser usado como concreto asfáltico ou como membrana asfáltica exposta e membrana asfáltica enterrada.

O concreto asfáltico consiste em agregados de areia e pedras finas ligadas por meio de asfalto. Este conjunto de mistura se aquece e se aplica imediatamente com um equipamento de alto custo. Segundo LAURITZEN et alii (1952), um dos melhores revestimentos deste tipo é o composto de uma mistura de areia e cascalho que passe por uma peneira de 1,905 cm e de cimento asfáltico refinado ao vapor com uma penetração de 50 a 60. A percentagem de asfalto, normalmente é de 8%. O melhor resultado tem sido obtido aplicando a mistura quente através de um equipamento móvel movido a trator (slip form). O custo deste revestimento é aproximadamente igual ao concreto com cimento Portland, porém sua duração parece ser menor.

LAURITZEN (1956), indica que as propriedades adesivas e repelentes à água deste material, vem despertando a atenção dos investigadores em revestimentos de canais. A resistência à deterioração biológica, à ação dos ácidos, bases e sais do solo são outras propriedades do asfalto que torna favorável seu uso em revestimentos de canais.

1.3 - ASFALTO PRÉ-FABRICADO - nos Estados Unidos o reves-

timento asfáltico pré-fabricado tipo lâmina são vendidos com espessura de 0,535 cm a 1,27 cm e são fabricados em unidades de 0,60 a 1,20 metros de largura por 2,40 metros de comprimento. Embora as membranas mais espessas são relativamente rígidas, no verão sempre tomam a forma do canal.

Geralmente, as lâminas são instaladas transversalmente. Estas devem ser enterradas no bordo do canal de maneira que fiquem seguras firmemente a fim de não deslizarem e nem ficarem enrugadas nas declividades. Quando instalado apropriadamente, este tipo de revestimento oferece um melhor serviço do que as membranas espalhadas no local, uma vez que, praticamente, estão livres de imperfeições e, por conseguinte, são muito mais resistentes à penetração das raízes.

LAURITZEN se refere ainda a um tipo de revestimento que não foi submetido a experiências exaustivas, que pertence ao grupo das membranas expostas (asphalt burlap) e que possui condições similares às das membranas pré-fabricadas. Este revestimento é construído na secção do canal ou ainda, em local plano, seco e limpo, enrolando-se posteriormente da mesma maneira que os rolos pré-fabricados. Consiste em camadas alternadas de asfalto e de um tecido resistente e impu-trescível o qual pode ser: juta, algodão ou fibra de vidro. A juta é tratada com substâncias especiais para evitar a ação dos fungos. O revestimento assim construído, tem uma resistência considerável aos danos mecânicos e o tecido impede a de

teorização causada pela exposição. LAURITZEN (1952), assinala que em alguns casos se tem usado agregados finos embebidos na camada de asfalto, obtendo-se assim maior proteção e redução de destruição do revestimento.

Por fim, dentre as membranas asfálticas expostas, temos, aquelas aplicadas diretamente no canal e somente de asfalto. Segundo LAURITZEN et alii (1952), neste sistema se aplica primeiro uma camada de asfalto bruto, e, em seguida, uma segunda camada de asfalto líquido. Outro tipo de membranas expostas ditadas pelo ICID (1967), são lâminas de plástico e lâminas de borracha sintética.

O uso de revestimento de plástico não é muito adequado porque o seu estado é muito pobre após dois a quatro anos. Lâminas cobertas com butilo, particularmente cobertas com fibras de vidro e borracha de butilo têm servido muito mais que o revestimento de plástico.

Revestimento de fibra de vidro acha-se em muito boas condições após 12 anos. Seu custo atual é em torno de três dólares por metro quadrado. Sua limitação é o custo.

A forma plástica mais prometedora e economicamente testada até o presente, parece ser a do polivinilo e polietileno. Uma vantagem no uso deste plástico é o escasso peso por unidade de área, permitindo o deslocamento do material de revestimento a longa distância sem excessivo custo de

transporte. Outra vantagem de mais recente desenvolvimento é a fabricação de largas e compridas lâminas, tornando possível o revestimento de largos canais com poucas juntas.

1.4 - REVESTIMENTOS COM PEDRAS (CASCALHO) - é um tipo de revestimento constituído de uma mistura de cascalho (brita) , cimento, areia e água suficiente para dar à mistura a consistência do concreto. Este tipo de revestimento pode ser espalhado na base e nos taludes dos canais, manualmente, quando há disponibilidade de mão de obra barata, como é o caso do Brasil, ou quando não, por meio de equipamentos. O maior ou menor grau de impermeabilização deste tipo de revestimento, depende das proporções dos agregados usados.

1.5 - REVESTIMENTOS DE SOLO-CIMENTO - dentro da série de revestimentos com cimento Portland, o LABORATÓRIO DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DOS ESTADOS UNIDOS, apresenta o denominado solo-cimento. Este oferece grandes possibilidades para ser usado nos revestimentos de canais nos locais de solos arenosos ou nos locais em que nas adjacências das obras haja solos arenosos e não seja possível contar, economicamente, com outros materiais de boas condições para o revestimento. O solo-cimento, conforme o nome sugere, é uma mistura de cimento e solo natural de textura arenosa. Os revestimentos de solo-cimento dividem-se em dois tipos gerais: o padrão e o plástico. O solo-cimento padrão se compacta com a umidade ótima da mistura, con-

forme determinado pelos testes de compactação no laboratório. O solo-cimento plástico tem maior quantidade de água que o solo-cimento padrão, e uma consistência comparável à do concreto de cimento Portland. Estas propriedades permitem colocação nos canais sem problema como é feito com os revestimentos de concreto e a um baixo custo.

O LABORATÓRIO DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DOS ESTADOS UNIDOS tem realizado experiências com diferentes percentagens de cimento com o intuito de determinar as diferenças em duração e resistência. Revestiram canais com solo-cimento plástico com uma espessura de 8,0 cm variando a percentagem de cimento em volume, na seguinte forma: 11,1; 14,5; 16,7 e 22,2%. Após três anos de uso foi observado destruição de uns 10% dos revestimentos por causas dos fatôres climáticos e esta destruição foi maior nas misturas com menor percentagem de cimento.

1.6 - BLOCOS PRÉ-FABRICADOS - é um tipo de revestimento com cimento Portland. De acordo com o LABORATÓRIO DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DOS ESTADOS UNIDOS (1952), este tem poucas limitações para o uso em pequenos canais, e quase sempre, seu uso se torna econômico. Quando há disponibilidade de mão de obra barata e abundante, os blocos podem ser fabricados no fundo do canal pelo construtor ou pelo agricultor. Se a mão de obra for cara e escassa, o mais econômico, será o emprego de blo-

cos pré-fabricados comerciais. O revestimento com blocos é muito cômodo quando usado para reparo de secções curtas de um canal, ou quando pequenos agricultores usam-no para revestir seus próprios canais. Neste tipo de revestimento, é dispensado o uso de implementos e maquinaria bem como o de mão de obra especializada.

## 2 - MEMBRANAS ENTERRADAS

A deteriorização rápida das membranas asfálticas expostas deu como resultado o estudo das membranas enterradas. As membranas enterradas mais investigadas e usadas correspondem às já mencionadas no caso das expostas.

2.1 - ASFALTO - este tipo de revestimento de asfalto consiste de uma membrana de asfalto coberta com uma camada protetora de material terroso. A camada protetora da membrana asfáltica deve satisfazer certas condições mínimas indispensáveis. Primeiramente manter o revestimento em seu lugar e protegê-lo da ação dos raios solares, da ação mecânica do pisoteio do gado e das operações de limpeza. Por isto é que, geralmente, emprega-se o cascalho como cobertura.

O LABORATÓRIO DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DOS ESTADOS UNIDOS (1952), tem empregado também o macadame asfáltico (sistema de empedramento), cuja finalidade é proteger as

membranas enterradas. O macadame asfáltico por si próprio constitui um revestimento, porém os ensaios realizados demonstraram que quando usado sô, requer grandes quantidades de asfalto para resultar boa impermeabilidade, de forma que se torna pouco econômico. Este macadame é feito colocando-se sobre a membrana uma camada de cascalho de 5,0 a 8,0 cm de espessura, espalhando-se em seguida cimento asfáltico o qual penetra no cascalho e o estabiliza.

O desenvolvimento do asfalto catalítico pela LION OIL COMPANY DE EL DORADO, ARKANSAS, segundo LAURITZEN, pode ser considerado como o principal responsável do êxito das membranas asfálticas enterradas. O asfalto catalítico é flexível dentro de uma larga faixa de temperatura, é resistente e mantém estas propriedades por um tempo considerável, quando protegida da radiação solar. Contudo, as membranas asfálticas enterradas apresentam as séries de desvantagens que envolvem todos os revestimentos enterrados. Primeiramente, quando se estragam, difícil se torna efetuar reparos. Quando for preciso fazer limpeza, geralmente, sempre há danificação no revestimento. Além disso, o corte do terreno necessário é muito maior para a mesma capacidade do canal, devido a que as propriedades hidráulicas são menos favoráveis. Por estas razões, geralmente, evita-se o uso de revestimentos com cobertura protetora.

2.2 - PELÍCULAS PLÁSTICAS - segundo LAURITZEN et alii (1956), as películas de vinilo e polietileno se mostraram altamente resistentes à destruição em contacto com terra úmida. A película negra de polietileno tem demonstrado grande resistência à exposição. Sem dúvida, as películas de vinilo, mesmo as opacas, são destruídas rapidamente quando expostas diretamente à luz solar. Todas duas são resistentes à penetração das raízes da alfafa. As membranas que foram usadas nas investigações em Logan Utah, por LAURITZEN, foram apenas de duas espessuras, 0,01 cm e 0,02 cm. Por causa da delicadeza, em geral, das membranas e a possibilidade de destruição por abrasão ou impacto, necessário se faz que em seu manejo sejam tomadas maiores precauções do que as normais. No preparo da secção do canal, o cuidado deve ser maior do que aquele tido com os outros tipos de revestimento de membranas. Os resultados das investigações em Utah, indicam que estas películas, como membranas enterradas, duram tanto quanto a maioria dos revestimentos de membrana e mais do que alguns que são usados extensivamente na atualidade.

2.3 - BORRACHA SINTÉTICA - LAURITZEN & PETERSON (1953), realizaram investigações com a finalidade de comprovar a eficiência do caucho como revestimento em canais e tanques. Ficou comprovado que o caucho natural se deteriora rapidamente em contacto com o solo. Porém, alguns cauchos sintéticos tais como o butílico mostraram alta resistência à destruição provoca

da pelos agentes climáticos e biológicos.

2.4 - BENTONITA - outro tipo de revestimento em forma de membrana enterrada é a bentonita. A bentonita é uma argila hidrõfila, que se expande ao absorver água. Encontra-se em depõsitos naturais de diversas variedades e graus de pureza. A bentonita, em sua forma mais ativa e pura (tipo sõdica), em forma de põ, absorve água até seis vezes o valor de seu peso seco e conseqüentemente se expandirá até quinze vezes seu volume seco. A massa expandida é então um gel, uma substância instável, mas quando se mistura com um solo poroso como a areia, pode produzir uma membrana estruturalmente estável que ao umedecer-se se torna uma camada quase impermeável, devido à expansão da bentonita que fecha os espaços vazios entre os grãos de areia. A bentonita menos ativa (tipo cálcica) se expande relativamente pouco ao umedecer-se, porém pode transformar-se na forma ativa (sõdica). Este processo, sem dúvida, é reversível e conseqüentemente em solo calcário a bentonita ativa pode degradar-se até a forma inativa e perder assim suas propriedades impermeabilizantes (ZIMERMAN, 1970).

Uma membrana enterrada de 5 a 10 cm de espesura, de solo misturado com 10 a 25% de bentonita, se for compactada adequadamente, proporcionará com uma umidade õtima uma boa impermeabilização contra a infiltração. A percentagem de bentonita e a espessura da camada necessária dependem da

qualidade, pureza, conteúdo de umidade, tamanho dos grãos e método de construção utilizados ao colocar a bentonita, e do solo com o qual este material for misturado. Quanto mais pura for a bentonita, mais baixo será o teor ótimo de umidade necessário para se obter a máxima densidade de compactação. Ademais, necessita-se menos bentonita e uma camada de membrana mais delgada, no caso de uma membrana pré-mesclada, onde se mistura o solo e a bentonita em uma betoneira, em comparação com a membrana misturada no lugar. O custo relativo destes dois métodos de construção depende do custo de mão de obra local e do custo da bentonita.

Com o uso de uma única camada de bentonita ficou provado que é muito instável para resistir as demandas de carga alta dos reservatórios, e, conseqüentemente, é de valor duvidoso. Em grandes obras ou em locais próximos aos depósitos de bentonita, onde são baixos os custos de aquisição e de transporte, o revestimento com bentonita pode ser uma boa solução. Sem dúvida, para os reservatórios de serviço relativamente pequenos, o gasto adicional, devido ao trabalho de laboratório, compactação e camada de proteção, tornam este tipo de trabalho demasiadamente custoso, e, geralmente, não é tão eficiente como o desejado (ZIMERMAN, 1970).

### 3 - REVESTIMENTOS DE TERRA

Os revestimentos de terra mais usados são os de materiais terrosos e de argilas, dado o seu baixo custo e fácil construção. Os principais revestimentos deste tipo, são de acordo com o LABORATÓRIO DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DOS ESTADOS UNIDOS (1952), os seguintes:

3.1 - REVESTIMENTOS DE TERRA SOLTA - este tipo de revestimento consiste de uma terra selecionada, de grãos muito finos, que se molda no canal e que logo se aplica nos taludes e no fundo do mesmo, em camadas de aproximadamente 30 cm de espessura. O solo deve ser o suficientemente fino, a fim de que haja impermeabilidade sem necessidade de compactação e, também para que resista, razoavelmente, à ação erosiva da água.

3.2 - REVESTIMENTOS DE TERRA COMPACTADA - consiste de uma camada de solo coesivo fortemente compactado de 15 a 30 cm de solo arenoso grosso e cascalho. Logicamente, a espessura da camada impermeável e a camada de proteção, variam de acordo com o tipo de solo usado, velocidade da água e outras condições de trabalho.

3.3 - REVESTIMENTOS DE TERRA COM PROCESSOS DE SEDIMENTAÇÃO - este método consiste em misturar com a água do canal, solos de textura fina tais como argilas e bentonita, e deixar que este material se deposite no canal. Este último é obtido

mediante diversos métodos (R.T. SHEN, 1959). A efetividade do método depende do tipo de material empregado e da velocidade com que se processa e infiltração.

Nos revestimentos com materiais terrosos, não incluiu-se o que se baseia em formar uma camada impermeável no solo, tal como se processa nas condições naturais. É muito bem conhecido o fenômeno de formação no solo de uma estrutura aluvial, a pouca profundidade, no perfil por causa da influência dos processos bioquímicos. Em experiências feitas pelo cientista russo V.I. SHRAG (1958), foi mostrado que sob certas condições, a impermeabilidade de tais camadas chega a ser exagerada. Se por meio de métodos especiais e simples, induz-se a formação de uma camada desta natureza se construirá um revestimento natural.

c) Uso de Argamassas - argamassas de asfalto emulsionado ou líquido quente e cimento Portland são injetadas nas rachaduras e juntas de canais feitos com rochas, pedras ou materiais arenosos grossos. Até agora, não tem sido possível usar esta metodologia economicamente em canais feitos com materiais finos. O processo é muito custoso, particularmente se são usados agentes químicos (ICID, 1967).

## D - PROPRIEDADES DOS REVESTIMENTOS

Quando construídos adequadamente, os revestimentos de canais podem contribuir materialmente durante longos períodos de tempo para a redução das perdas de água por infiltração. Por esse ponto de vista, seria difícil dizer que um revestimento é melhor que o outro. Membranas asfálticas em terradas, aplicadas a quente, revelaram-se como sendo um dos mais seguros revestimentos desenvolvidos até agora e recentes testes com essas membranas, construídas de cimento asfáltico catalítico, indicam que uma pequena mudança nos materiais das membranas tenha ocorrido desde sua aplicação. A impermeabilidade do revestimento de membrana asfáltica foi demonstrada por um teste de infiltração feito no campo, em Wyoming, nos Estados Unidos. Testes feitos em 1950, anteriores à instalação do revestimento asfáltico, indicaram uma média de infiltração de 0,28 metros cúbicos por metro quadrado por dia. Depois de onze anos a média de infiltração foi apenas de 0,028 metros cúbicos por metro quadrado por dia.

Revestimentos grossos de solo compactado, adequadamente construídos, também se revelaram altamente impermeáveis, com perdas médias da ordem de 0,002 metros cúbicos por metro quadrado por dia, em diversos testes.

O concreto de cimento Portland é mais resistente à erosão do que a maioria dos outros materiais de revestimento. Portanto, ele é o mais usado para altas velocidades de água. Um revestimento de concreto armado, quando apropriadamente projetado, suportará qualquer velocidade possível para os canais. Velocidades acima de 0,23 metros por segundo são permissíveis com concreto não armado desde que a profundidade seja suficiente para reduzir a média do fluxo abaixo do ponto crítico e possa controlar o turbilhonamento ou ondulações sérias.

Tijolos (ou azulejos) feitos de argamassa prensada são econômicos onde a mão de obra é barata. Devidamente construídos eles têm quase o mesmo grau de impermeabilidade que o revestimento de concreto. As juntas formadas pelos tijolos, nos revestimentos de argamassa prensada, apresentam numerosas rachaduras capilares que minimizam os danos do revestimento causados por variações de temperatura.

Com a proteção dos revestimentos do tipo membrana enterrada, geralmente de terra ou de uma combinação de terra e pedregulho, as velocidades permissíveis da água, numa seção revestida, devem ser limitadas para evitar a erosão da cobertura. Os revestimentos grossos de solo também precisam de alguma proteção para evitar sua erosão em algumas circunstâncias. Quando construídos com materiais arenosos e siltosos,

principalmente com pedregulho grosseiro, esses revestimentos são muito susceptíveis a danos por pressão. Quando esses materiais, são usados devem ser comparados os custos devido à redução da velocidade (seção maior), com os de manter uma seção menor com uma velocidade maior, porém com cobertura de pedregulho de proteção ao revestimento.

Os revestimentos de concreto chapiscado requerem menos controle de ervas daninhas. A manutenção será necessária, no controle de ervas daninhas e salgueiros que podem crescer no material da cobertura dos revestimentos tipo membrana enterrada e, nas juntas dos revestimentos de tijolos ou azulejos. Raízes de salgueiro têm perfurado as membranas asfálticas. Por esta razão, este tipo de revestimento não é usado em climas quentes onde o crescimento das ervas daninhas é um grande problema. A vegetação que aparece na cobertura das membranas enterradas pode criar problema na sua remoção. A limpeza mecânica dos canais, sem causar dano às membranas enterradas, particularmente, aqueles com capacidade menor que 0,84 a 1,4 metros cúbicos por segundo pode constituir-se também num problema.

O concreto de cimento Portland e as argamasas também são susceptíveis a danos provenientes da ação congelante e degelante da água. Nos climas do Norte dos Estados Unidos, onde se encontra temperatura abaixo de 0°C, a geada é

indubitavelmente o maior fator para a destruição dos revestimentos de concreto. Para as áreas de localização da base do canal com drenagem deficiente, um adequado sistema de drenagem é talvez a proteção mais eficaz contra a geada. Além dos efeitos da geada no aterro abaixo de um revestimento de concreto, a ação congelante e degelante da água também tende a desintegrar o concreto pela expansão da água entre os poros. Esse efeito também pode ser reduzido através do uso de aprisionamento de ar em concreto poroso de boa qualidade.

Tem sido profundamente considerada a possibilidade da ocorrência de mudanças num revestimento de solo compactado devido a intemperização física em combinação com a operação do canal. A questão principal é uma possível diminuição na densidade e aumento na permeabilidade, que poderia prejudicar a eficiência do revestimento de reduzir a infiltração. Embora o fato de o solo secar e se molhar alternadamente pode alterar as suas propriedades, a ação congelante e descongelante nas áreas mais frias é tida como fator mais importante nas alterações do revestimento. Todavia, os resultados dos testes de campo de densidade e permeabilidade, nos últimos dez anos, têm mostrado que não houve mudança significativa na densidade sob condições de congelamento e de degelamento moderadamente.

Os revestimentos de concreto e tijolos de argamassa prensada são susceptíveis a ruptura por pressões hi

drostáticas externas ou outras pressões. Entretanto, eles suportarão uma pequena rachadura para aliviar pressões hidrostáticas externas sem danos significantes. Revestimentos de concreto não armado são mais sujeitos a danos por pressão hidrostática ou outras pressões abaixo do revestimento do que revestimentos de concreto armado mas não a ponto de a diferença em custo ser muito grande. Onde pressões hidrostáticas inesperadas são encontradas abaixo do revestimento, o concreto não armado romperá primeiro que o concreto armado, assim, aliviando a pressão e reduzindo a área de dano. No entanto, onde a pressão hidrostática externa é um problema, drenos para aliviar a pressão hidrostática superior, geralmente vale o custo adicional e compensará para custos de manutenção e posteriores reparos.

Uma das principais vantagens dos revestimentos de concreto chapiscado é que eles podem ser mais facilmente colocados sobre aterros mais acidentados do que os revestimentos de concreto liso e, adaptam-se bem ao uso em cortes de rocha já existentes, onde o nivelamento seria muito caro. Sendo geralmente construídos mais que os de concreto, os revestimentos de concreto rugoso são mais facilmente danificados por pressões hidrostáticas e por sedimentação, expansão ou contração de aterro. Ainda mais, a dificuldade de controlar a espessura da aplicação do concreto chapiscado, pode resultar num

revestimento com algumas partes de espessura abaixo das especificações.

Os revestimentos de solo grosso compactado podem suportar uma considerável pressão hidrostática externa sem diminuição na eficácia. Como as barragens de terra, eles são mais flexíveis do que os rígidos revestimentos de argamasa ou concreto. Drenos subterrâneos, que acomodem alto lençol freático que pode aparecer próximo a um canal sob certas circunstâncias, serão com menor frequência necessários.

Com excessão da correção das falhas que podem aparecer logo após a construção, os custos de manutenção dos revestimentos são geralmente baixos. Entretanto, todos os tipos de revestimento precisarão de manutenção e reparos. Se a impermeabilidade é necessária, as fendas e juntas nos revestimentos de concreto e concreto chapiscado deverão ser seladas. O concreto chapiscado aplicado pneumáticamente, pode ser usado no conserto superficial dos revestimentos de cimento Portland e apresentará bons resultados durante algum tempo, sob condições normais de exposição e operação. Geralmente, as camadas finas de material reaplicado à superfície, não resistem a condições como congelamento e degelamento e alta pressão hidrostática.

Os revestimentos do tipo membrana enterrada merecem atenção por causa da colocação em declividades que são

instáveis, a proteção inadequada da membrana, água superficiais de escoamento entrando nos canais revestidos, o tipo de material do aterro sobre o qual a membrana é colocada, operações de limpeza, erosão, fricções dos materiais cobertos e a ruptura ou perfuração da membrana.

A manutenção dos revestimentos de membrana asfáltica, aplicada quente, não tem sido considerada muito dispendiosa pela maioria dos operadores de projetos, embora os consertos sejam necessários no futuro (ICID, 1967).

## **E - ECONOMIA DOS REVESTIMENTOS**

Vantagens do revestimento. A conservação da água é uma justificativa suficiente para tomar medidas que evitem suas perdas por infiltração. Além disso, há outros fatores importantes que podem ser considerados. Estes são: o valor da terra irrigável, o custo das construções de engenharia e sua relativa potencialidade e o projeto da qualidade futura da água. Este último fator pode ser significativo se a água for utilizada, eventualmente, para propósitos municipais ou industriais.

Considerando o valor da terra irrigável, a

água de infiltração dos canais pode se acumular em terras mais baixas tornando-as improdutivas. O custo de construção, operação e manutenção de um imenso sistema de drenagem com o único propósito de evitar as perdas de água por infiltração do canal principal, pode ser mais caro do que revestir o canal para evitar estas perdas. Se a água de drenagem tem que ser bombeada antes de seu uso, então a prevenção das perdas de água por infiltração através do revestimento da canalização se torna consideravelmente mais importante.

Há possíveis vantagens financeiras em se fazer o revestimento na mesma época da construção do projeto. As perdas de água dos canais e das galerias laterais serão reduzidas e os tamanhos das estruturas associadas, tais como barragens, reservatórios, bombas, canais e galerias laterais, necessários para fornecer uma quantidade de água, serão também reduzidos. A economia resultante do custo de construção pagará, pelo menos, em parte o revestimento de um sistema de irrigação menor, que conduzirá a mesma quantidade de água, por causa da redução das perdas.

O método mais econômico e prático de fornecer maior capacidade a um canal, que vem há anos em atividade, de modo a encontrar uma grande demanda de água ou servir uma maior faixa de terra, é sempre um problema. Se a capacidade adicional requerida é relativamente grande, o único meio de atingir o objetivo seria alargar a secção do canal. Contudo,

se o aumento da capacidade é relativamente pequeno e o canal não é revestido, a instalação de um revestimento pode oferecer uma solução econômica do problema. A prevenção das perdas por infiltração do canal e o aumento das propriedades hidráulicas de um revestimento de canal de superfície dura poderão, possivelmente, dar o aumento de capacidade requerida.

Outras considerações do projeto podem, também, determinar a necessidade de revestimento. Isso inclui fatores tais como: segurança estrutural, redução da fricção com altas velocidades, ou uma redução dos custos de operação e manutenção. É muito importante que qualquer estimativa inclua uma cuidadosa determinação dos valores da terra e da água projetados para o futuro. Muitos canais de transmissão, atualmente construídos sem revestimento, provavelmente teriam sido revestidos ou construídos como sistema de condutos fechados se uma determinação exata dos valores da água e terra tivesse sido feita (ICID, 1967).

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### A - LOCALIZAÇÃO DOS TESTES

O presente trabalho foi desenvolvido no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (CCT/UFPB) em Campina Grande, Paraíba.

O solo utilizado nesta pesquisa, não foi o mesmo da área selecionada, mas, foi coletado nas proximidades do Laboratório de Alta Tensão do CCT/UFPB. Este solo apresenta granulometria similar àquela do Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde em Condado, Paraíba. Outra razão para se usar este solo, foi a de que o mesmo já havia sido utilizado na pesquisa feita por QUEIROGA & FERREIRA (1974) ainda não publica-

da, da qual, será obtida alguma informação com respeito a este trabalho. Algumas características do solo usado são apresentadas na tabela 1.

## **B - TESTES DE INFILTRAÇÃO E EROÇÃO · METODOLOGIA**

Com a finalidade de se determinar as perdas de água por infiltração e o desgaste provocado pela água (erosão) nos tipos de revestimentos em canais de irrigação ensaiados, usaram-se canais estáticos (água em repouso) e canais dinâmicos (água em movimento), respectivamente.

### **1 - CANAIS ESTÁTICOS**

O principal objetivo dos canais estáticos foi determinar as perdas de água por infiltração. Tais determinações tiveram início no dia 10 de março de 1976 e término a 10 de junho do mesmo ano, perfazendo assim um total de 103 dias. Estes canais foram construídos numa área de 80,0 m<sup>2</sup>, cercada com malha de arame fino a fim de evitar a possível entrada de animais. Nesta área foram cavadas quatro pequenas valas retangulares com 5,60 m de comprimento; 0,40 m de profundidade e 0,80 m de largura. Nelas foram construídos quatro canais

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS, DENSIDADE APARENTE E PERMEABILIDADE DO SOLO UTILIZADO

PROF. DO SOLO (cm)	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL	DENSIDADE APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	PERMEABILIDADE (cm/s)
	AREIA GROSSA	AREIA FINA	LIMO	ARGILA			
0	53	35	2	10	Areia Franca	1,00	$9,7 \times 10^{-6}$
10	49	38	5	8	Areia Franca	1,00	$1,06 \cdot 10^{-5}$
20	52	36	8	4	Areia	1,00	$1,53 \cdot 10^{-5}$
30	52	34	7	7	Areia Franca	1,00	$1,63 \cdot 10^{-5}$

estáticos sem declividade, revestidos com os seguintes materiais.

- a) Solo-cimento plástico
- b) Brita 19 (cascalhinho)
- c) Plástico (polietileno)
- d) Solo natural compactado

a) Canal revestido com solo cimento plástico. Numa das valas, espalhou-se camadas de 0,05 m de altura de solo, previamente peneirado através de diâmetro de malha de 0,004 m, umedecido com um teor de umidade suficiente para dar ao solo consistência que permitisse ser compactado. Não determinou-se o teor ótimo de umidade, porque, evidentemente a baixa permeabilidade que se alcança no laboratório, não se pode obter, na íntegra, no campo, e, também, que o estado de compactação responsável pela baixa permeabilidade se altera rapidamente com o uso. A compactação foi feita manualmente com um malho de madeira.

Após a compactação, com o auxílio de pequenas ferramentas manuais, tais como: enxada, pá, enxô e espátula, cortou-se o canal em secção transversal trapezoidal com talude 2:1; base 0,20 m; profundidade 0,25 m e comprimento 5,10 m. Em seguida, o canal foi revestido com uma mistura de

cimento Zebu<sup>1/</sup> e solo arenoso. A mistura foi preparada numa betoneira com a quantidade de água suficiente para que alcançasse a consistência da mistura de concreto (21 litros para 45 kg de cimento) e 17% de cimento, em volume (FUENTES, 1964). A espessura do revestimento foi de 0,05m ficando, assim, o canal depois de revestido com uma profundidade de 0,20 m; base 0,10m; talude 2:1 e 5,0 m de comprimento.

b) Canal revestido com brita 19<sup>2/</sup> (cascalhinho). Em outra vala, usando-se o mesmo processo de compactação e corte descrito anteriormente, foi construído um canal revestido com brita 19, com 0,05 m de espessura, nas seguintes proporções: cimento Zebu (25 kg) areia (0,121 m<sup>3</sup>); brita (0,129 m<sup>3</sup>) e água suficiente para dar à massa a consistência da mistura de concreto. As dimensões deste canal foram iguais às do anterior.

c) Canal revestido com plástico<sup>3/</sup>. Numa terceira vala, procedendo-se como nos casos anteriores se localizou um canal com talude 2:1; base 0,10m; profundidade 0,20 m; comprimento 5,0 m e revestido com uma película de plástico negro com 0,01mm de espessura.

---

1/ Cia. Paraíba de Cimento Portland - CIMEPAR - João Pessoa-PB.

2/ CONTENOBRA - Construtora Ltda. Campina Grande - Paraíba

3/ Plástico Plavinil S.A. São Paulo - SP

Além de testar este tipo de revestimento, este canal teve também a finalidade de medir a evaporação ao longo do período experimental.

d) Canal de solo natural compactado (testemunha). Sua construção e dimensões foram iguais à do anterior, sendo que, neste caso, o canal não teve nenhum tipo de revestimento a não ser o solo natural compactado. A compactação foi igual a do canal revestido como solo-cimento plástico.

Todas as misturas usadas no presente trabalho foram preparadas numa betoneira e as dimensões dos canais foram executadas com um molde de madeira. Com o objetivo de estabilizar a reação dos componentes das misturas usadas nos revestimentos dos canais, estes passaram por um período de "cura" de uma semana.

Além destes tipos de revestimentos, foram incorporadas a este trabalho, informações com respeito a revestimento com bentonita, trabalho realizado por QUEIROGA & FERREIRA (1974) nas mesmas condições de solo e área.

**Testes de Infiltração.** O método utilizado para medir a infiltração da água em cada um dos revestimentos usados, foi o da bacia (U.S.D.A., 1968), por ser um dos mais exatos e porque não requer canais de extensos comprimentos para as medições, como é o caso do método de entrada e saída (inflow-outflow).

Decorrido o período de "cura", os canais passaram a receber água duas vezes ao dia, imediatamente após cada leitura do nível da água, em régua aferidas com precisão de 0,001 m. A infiltração média diária foi determinada através da diferença de leituras feitas no canal em estudo e no canal revestido com plástico.

Todos os canais foram submetidos a períodos secos e molhados como ocorre na prática. A duração do período seco variou entre três e sete dias, em intervalos de sete em sete dias. Consequentemente os períodos molhados tiveram uma duração de sete dias em intervalos variando entre três e sete dias.

## 2 - CANAIS DINÂMICOS

Com o intuito de verificar o desgaste provocado pela água (erosão), três canais dinâmicos foram construídos junto ao laboratório de Hidráulica do CCT/UFPB, onde já existia uma estrutura de tijolos, revestida com cimento, de forma retangular, de 9,0 m de comprimento, 2,0 m de largura e de 0,80 m de profundidade. A mesma estrutura foi usada anteriormente na pesquisa com bentonita feita por QUEIROGA & FERREIRA (1974).

Os tipos de revestimentos utilizados nos ca

nais dinâmicos foram os mesmos dos canais estáticos, ou seja, solo-cimento plástico, brita 19 (cascalhinho) e solo natural compactado (testemunha).

a) Canal revestido com solo-cimento plástico. A estrutura anteriormente citada, foi preenchida com solo natural e compactou-se da mesma maneira como foi feito com as valas dos canais estáticos. No volume compactado, com o auxílio de pequenas ferramentas manuais, tais como aquelas usadas nos canais estáticos, abriu-se o canal com secção trapezoidal, base 0,30 m; profundidade 0,35 m; comprimento 9,0 m talude 2:1 e declividade 1:1000. Em seguida, o canal foi revestido com uma espessura de 0,05 m da mistura solo-cimento plástico nas mesmas proporções já citadas para o canal estático. Após revestido, o canal ficou com as seguintes dimensões: declividade 1:1000; talude 2:1; base 0,20 m; profundidade 0,30 m e comprimento 9,0 m.

b) Canal revestido com brita 19 (cascalhinho). Decorrido o tempo experimental com o primeiro canal, construiu-se um outro com as mesmas características do primeiro, variando apenas o tipo de revestimento o qual constituiu-se de uma mistura de cimento, areia, brita e água com as mesmas proporções já usadas para o canal de brita estático.

c) Canal de solo natural compactado (teste-

munha). Finda a experiência com o segundo canal, construiu-se um terceiro como nos casos anteriores, sendo que desta feita, o canal aberto no solo compactado já se apresentava com secção (trapezoidal) e dimensões definitivas 9,0 m de comprimento, profundidade 0,20 m; base 0,10 m e declividade 1:1000.

d) Canal revestido com plástico. Este tipo de revestimento não foi testado, tendo-se em vista que o mesmo não é desgastado facilmente pela água.

Como no caso dos canais estáticos, todas as misturas foram preparadas numa betoneira, dimensões executadas com um molde de madeira e semelhante período de cura.

A proliferação de ervas daninhas no canal testemunha durante o período experimental, foi combatida com o uso de herbicida (Tropox).

TESTES DE EROSAO. Após a "cura", os canais de solo-cimento plástico e o de brita 19 (cascalhinho), receberam vazões de: 5, 10, 20 e 30 litros por segundo, respectivamente. O canal testemunha teve vazões de: 1,0; 3,75; 5,0 ; 10,0 e 20,0 litros por segundo. Vazões maiores não foram utilizadas, porque a bomba que elevava a água para o reservatório que alimentava os canais, não teve capacidade para vazões superiores a 30,0 litros por segundo.

O tempo de escoamento para cada vazão, foi

de 30 horas (6h/dia). Ao fim deste período foram feitas as de terminações de erosão. Para medir o desgaste provocado pela á gua, instalou-se ao longo dos taludes e da base dos canais, piquetas de aço com 0,10 m de comprimento e 0,002 m de diâmetro localizadas a uma distância de 0,50 m entre linhas e 0,01 m entre colunas. Foi usado arame de aço, por ser um material resistente que penetra facilmente no concreto. A er são foi determinada, medindo-se ao final do teste, a parte ex posta das piquetas com o auxílio de uma régua aferida com pre cisão de 0,001 m.

A velocidade das vazões para cada tipo de revestimento foi determinada pelo processo do flutuador. Para isto, instalou-se a jusante e a montante pontos de referência. Várias leituras foram feitas para cada vazão e desta tirava-se uma média. A velocidade assim encontrada correspondia à ve locidade máxima (V), pois o flutuador quase sempre passa na zona dessa. Como, no cálculo da vazão, o que interessa é a ve locidade média (U) e não V, tem-se que substituir este por aquele adotando-se os valores indicados para cada tipo de revestimento (DAKER, 1970).

A velocidade média (U) foi encontrada levando-se em consideração a natureza do revestimento. Para canais revestidos com solo-cimento plástico e brita, considerou-se a velocidade média (U) como 0,90 V e para o canal testemunha  $U = 0,80 V$  (DAKER, 1970).

## C - ANÁLISE ECONÔMICA DOS REVESTIMENTOS DE CANAIS USADOS

Segundo LAURITZEN (1955), o requerimento básico do revestimento, é o que constitui um obstáculo efetivo para a transmissão da água nos interstícios do solo. Contudo, deve ser econômico, ou seja, o custo anual, que inclui o custo inicial, dividido entre os anos de vida útil do revestimento e os custos de manutençõo, não devem ultrapassar aos benefícios.

De acordo com o LABORATÓRIO DE RECUPERACõo DE SOLOS DOS ESTADOS UNIDOS (1962), para justificar economicamente uma decisõo tomada quanto ao tipo do revestimento, vários fatores devem ser considerados, o que torna um tanto complicada essa decisõo. As considerações referem-se ã relaçõo de perdas de água por infiltraçõo nos canais e reservatórios com e sem revestimento, ao valor da água economizada, custos de operaçõo e manutençõo, custos de drenagem, ou seja, o valor do terreno sem uso agrícola por causa do excesso de infiltraçõo de água, tamanho dos canais, mão de obra, velocidades permissíveis, custos das estruturas e custos dos diferentes tipos de revestimento em analogia com as outras condições. O valor de cada ítem, é variável com as condições locais, o que implica num metuculoso estudo para cada caso em particular.

Com o objetivo de determinar a viabilidade econômica dos revestimentos de canais testados, foi empregado o método usado por G.P. South do Bureau of Reclamation, Salt Lake City, Utah, U.S.A. e apresentado no III Congresso de Irrigação e Drenagem realizado em 1957 (ICID).

Segundo o método o valor das perdas anuais de água por infiltração em canais não revestidos é:

$$\frac{Su Pu L d Vw}{43560}$$

E em canais revestidos

$$\frac{S1 P1 L d Vw}{43560}$$

Onde:

Su = Perdas de água por infiltração em canais não revestidos  
(pēs<sup>3</sup>/pē<sup>2</sup>/24h)

Pu = Perímetro molhado do canal não revestido (pēs)

L = Comprimento do canal (pēs)

d = Número de dias (24 horas) que o canal trabalha anualmente

Vw = Valor da água economizada (centavos/acre pē)

S1 = Perdas de água por infiltração em canais revestidos  
(pēs<sup>3</sup>/pē<sup>2</sup>/24h)

PI = Perímetro molhado do canal revestido (pês)

Assim, as economias de água devido ao revestimento são:

$$\frac{Su Pu L d Vw}{43560} - \frac{S1 P1 L d Vw}{43560} = \frac{L d Vw}{43560} (Su Pu - S1 P1)$$

Os benefícios anuais sendo:

$$\frac{L d Vw}{43560} (Su Pu - S1 P1) + ML + DL$$

Onde:

M = Economia anual, em centavos, na operação e manutenção, devido ao uso do revestimento.

D = Economia anual, em centavos, ao reduzir os custos de drenagem, terras recuperadas, segurança contra quebras, melhoramento da aparência do canal, por unidade de canal.

Se considerarmos que os custos anuais dos revestimentos são:

$$\frac{Pt L C}{Y}$$

Onde:

Pt = Perímetro total revestido (pês)

C = Custo do revestimento incluindo todos os custos (material, mão de obra, etc. (centavos/pés<sup>2</sup>)

Y = Vida útil do canal, anos.

Para que o canal seja economicamente viável, os custos anuais deverão ser iguais ou menores do que os benefícios anuais.

$$\frac{Pt L C}{Y} \leq \left[ \frac{L d Vw}{43560} (Su Pu - S1 P1) + ML + DL \right] \text{ ou}$$

$$C \leq \left\{ \frac{Y}{Pt} \left[ \frac{d Vw}{43560} (Su Pu - S1 P1) + M + D \right] \right\}$$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### A - CANAIS ESTÁTICOS

##### INFILTRAÇÃO

A Tabela 2 apresenta a evaporação média, a infiltração acumulada e a infiltração média diária observadas nos quatro tipos de revestimento de canais usados durante os 103 dias (63 molhados) de experimentação. A evaporação média verificada foi de 0,53 cm/dia, a qual correspondeu a uma evaporação acumulada de 33,4 cm durante os 63 dias em que os canais se encontravam com água. Todos os revestimentos usados apresentaram as mesmas perdas de água por evaporação, dado que estas não dependem do tipo de revestimento mas sim da demanda

TABELA 2 - EVAPORAÇÕES E INFILTRAÇÕES ACUMULADAS E MÉDIAS OBSERVADAS NOS QUATRO TIPOS DE REVESTIMENTO DE CANAIS

TIPO DE REVESTIMENTO	EVAPORAÇÃO		INFILTRAÇÃO	
	ACUMULADA (mm)	MÉDIA (cm/dia)	ACUMULADA (mm)	MÉDIA (cm/dia)
Solo Natural Compactado	33,4	0,53	457,1	7,26
Brita	33,4	0,53	165,7	2,63
Solo-Cimento Plástico	33,4	0,53	23,3	0,37
Plástico	33,4	0,53	0,0	0,00

atmosférica que foi igual para todos os tratamentos. Uma vez subtraídas as perdas de água por evaporação das perdas totais dos canais, observou-se uma infiltração acumulada de 457,1; 165,7; 23,3 e 0,0 cm de água para os canais revestidos com solo natural compactado (testemunha); brita 19 (cascalhinho); solo-cimento plástico e membrana de plástico (polietileno), respectivamente. Na pesquisa com bentonita realizada por QUEIROGA & FERREIRA em 1974, durante 63 dias de molhado, foi verificada uma infiltração acumulada de 58,9 cm para o canal revestido com membrana de bentonita e 154,5 cm para o canal te tijo los de bentonita. De um modo geral ao comparar-se os resultados das perdas de água por infiltração obtidos no canal testemunha, com os dos demais, vê-se claramente a influência marcante no processo de infiltração quando usou-se plástico, solo-cimento plástico, brita e bentonita como revestimentos. A membrana de plástico por ser um material impermeável, eliminou totalmente as perdas de água por infiltração conforme indicam os resultados obtidos neste trabalho.

Tem sido comprovado, (ICID 1967, FUENTES<sup>1/</sup>), inclusive na presente pesquisa, que o plástico é um tipo de revestimento muito eficiente quando usado a curto prazo como neste trabalho. Todavia, quando este é usado por um longo pe-ríodo, sua deterioração é significativa e conseqüentemente, ap<sup>o</sup>s

---

1/ Comunicação pessoal - Janeiro 1976

dois a quatro anos de uso, necessário se faz a sua substituição (ICID, 1967). A sua durabilidade é mínima a longo prazo uma vez que o mesmo é facilmente danificado por pisoteio de animais, pássaros, plantas que crescem abaixo do revestimento, insolação, animais roedores, etc. (ZIMERMAN, 1970). Também tem sido comprovado que o plástico é muito eficiente quando se usa enterrado o qual não fica em contacto com a ação intemperizadora do meio (ICID, 1967). Quando da presente pesquisa este foi usado, observou-se algumas rachaduras que foram imediatamente reparadas. Assim sendo, o revestimento de plástico, no presente trabalho, foi usado principalmente para determinar a evaporação da água nos canais. Sua avaliação com respeito aos outros revestimentos deverá ser feita a longo prazo, pelo menos uns dez anos. Para os propósitos do presente trabalho, este tipo de revestimento não será considerado. Portanto, os resultados indicam que independente dos estudos da análise econômica, o revestimento mais eficiente foi o solo-cimento plástico, seguido da membrana de bentonita, tijolos de bentonita e por último a brita.

O solo-cimento plástico, demonstrou sua eficiência como revestimento, ao infiltrar apenas 5% da infiltração verificada no canal testemunha. Isto se deve ao fato de se ter usado na mistura, solo com menos de 20% de partículas de limo e argila, o que permite uma cimentação por meio de ligação mecânica de silicato de cálcio e hidratos de alumínio

no mecanismo de estabilização do solo-cimento CABRERA (1975).

A membrana de bentonita, em virtude do poder impermeabilizante da argila montmorilonítica, quando misturada com solo arenoso, infiltrou 12,8% da infiltração registrada no canal testemunha, demonstrando assim ser um tipo de revestimento eficiente para eliminar perdas de água por infiltração, embora em menor escala do que a mistura solo-cimento. Já o canal revestido com tijolos de bentonita, infiltrou 33,7% daquela registrada no canal testemunha. Essa considerável diferença entre os dois tipos de revestimento com bentonita é justificada pelas fendas existentes entre os tijolos.

A brita 19 (cascalhinho) por ser um material consideravelmente poroso, foi o revestimento que se apresentou menos impermeável (35%) da infiltração verificada no canal testemunha.

Entre os canais estudados, apenas o canal testemunha apresentou anormalidades dignas de registro. Logo nos primeiros dias, após sua construção, surgiram as primeiras plantas, tanto nos taludes como na base, oriundas da germinação de sementes de ervas daninhas. Com o decorrer dos dias, elas cresceram e se desenvolveram, causando um problema de rugosidade que só poderá ser superado com a aplicação de herbicidas ou corte total das mesmas - tal medida deixou de ser tomada, para que no fim do experimento se comprovasse a

riam erosões nos taludes, justamente nas partes baixas do solo, por onde a água de chuva escoava facilmente. Durante o

necessidade de conservação e manutenção em canais de terra. Neste canal, observou-se ainda, que quando se registrava uma precipitação de alta intensidade, embora de curta duração, ocorriam erosões nos taludes, justamente nas partes baixas do solo, por onde a água de chuva escoava facilmente. Durante o curto período de observação (103 dias), neste canal, houve também, deformação dos taludes provocada pelo simples abastecimento de água, ficando uma acentuada marca na altura da lâmina líquida que foi tomada como ideal para o nosso estudo. A altura da secção do canal ficou modificada devido à sedimentação do solo proveniente da erosão dos taludes. Desta maneira, decorridos os 103 dias, sua secção ficou quase que totalmente deformada. Os demais revestimentos, por serem mais rígidos e resistentes, não apresentaram problemas de erosão e rachaduras. A proliferação de ervas daninhas, comparada com a do testemunha foi mínima. Conclui-se com isto que, os custos anuais de conservação e manutenção para canais de solo natural compactado, são mais elevados do que os dos revestidos com plástico, solo-cimento plástico e brita.

Durante os 103 dias de observação, o efeito alternado de seco e molhado dos canais não teve influência nas perdas de água por infiltração já que as leituras feitas nos períodos molhados, apresentaram insignificantes diferenças. Portanto, nenhuma influência na infiltração foi verificada nos canais em função do tempo de uso, ou seja aumento ou diminui-

ção nas perdas de água após estes permanecerem secos durante três ou sete dias.

## **B - CANAIS DINÂMICOS**

### EROSÕES E VELOCIDADES DA ÁGUA NOS CANAIS

A Tabela 3, apresenta os resultados da erosão média, acumulada e as velocidades máximas e médias obtidas durante 30 horas de escoamento (5 horas por dia), para cada vazão no canal dinâmico revestido com solo natural compactado (testemunha). A análise da Tabela 3 permite observar os valores das erosões médias que foram de 0,7; 3,5; 6,1; 10,6 e 16,8 mm para as vazões de 1,00; 3,75; 5,00; 10,00 e 20,00 l/s, respectivamente. Nota-se que a erosão aumentou de acordo com as vazões aplicadas. Na base do canal, inicialmente registrou-se uma pequena erosão, posteriormente, com o passar dos dias, iniciou-se um lento processo de sedimentação do solo erodido dos taludes sobre a base, que foi aumentando gradativamente de acordo com o aumento das vazões. Ao término do experimento, todas as piquetas colocadas ao longo da base, para determinar a erosão, encontravam-se encobertas. Em consequência da erosão, a forma do canal, ficou praticamente deformada,

TABELA 3 - EROSÕES E VELOCIDADES DE ESCOAMENTO DA ÁGUA, OBSERVADAS DURANTE A OPERAÇÃO DO CANAL DINÂMICO REVESTIDO COM SOLO NATURAL COMPACTADO PARA AS DIVERSAS VAZÕES USADAS.

VAZÃO (l/s)	EROSÃO MÉDIA (mm)	EROSÃO ACUMULADA (mm)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1,00	0,7	0,7	0,22	0,18
3,75	3,5	4,2	0,32	0,26
5,00	6,1	10,3	0,37	0,30
10,00	10,6	20,9	0,58	0,46
20,00	16,8	37,7	0,80	0,64

com os taludes desgastados e a base bastante elevada, o que contribuiu na diminuição da sua capacidade.

As Tabelas 4 e 5, apresentam os valores das erosões e velocidades máximas e médias obtidas nos canais revestidos com solo-cimento plástico e brita, respectivamente, quando se aplicou vazões de 5, 10, 20 e 30 l/s. Analisando-se aquelas tabelas, vê-se que após 120 horas de escoamento, com quatro diferentes vazões (30 horas para cada uma), não houve erosão naqueles canais para nenhuma das vazões dadas, inclusive, com a de 30 l/s, maior do que a máxima (20 l/s) fornecida ao canal testemunha, o que demonstra a excelente resistência à erosão desses revestimentos. Comparando-se os resultados de erosão das tabelas 4 e 5 com os da Tabela 3, nota-se que a durabilidade do canal de terra foi mínima e seu uso requererá constante mão de obra na sua manutenção. Neste canal não se aplicou a vazão máxima de 30 l/s porque a sua capacidade fora diminuída em consequência de sua deformação ocasionada pelo movimento da água.

O revestimento com plástico não foi utilizado em canal dinâmico por se achar desnecessário o seu estudo, pois tem sido demonstrado que a curto prazo (120 ou 150 horas), este material não é afetado pelas forças atuantes provocadas pelo movimento da água.

Com respeito às velocidades da água nos ca-

TABELA 4 - EROSÕES E VELOCIDADES DE ESCOAMENTO DA ÁGUA OBSERVADAS DURANTE A OPERAÇÃO DO CANAL DINÂMICO REVESTIDO COM SOLO-CIMENTO PLÁSTICO, PARA AS DIVERSAS VAZÕES.

VAZÃO (l/s)	EROSÃO MÉDIA (mm)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
5,00	0,00	0,52	0,47
10,00	0,00	0,58	0,52
20,00	0,00	0,78	0,70
30,00	0,00	1,00	0,90

TABELA 5 - EROSÕES E VELOCIDADES DE ESCOAMENTO DA ÁGUA OBSERVADAS DURANTE A OPERAÇÃO DO CANAL DINÂMICO REVESTIDO COM BRITA 19 (CASCALHINHO), PARA AS DIVERSAS VAZÕES.

VAZÃO (l/s)	EROSÃO MÉDIA (mm)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
5,00	0,00	0,44	0,40
10,00	0,00	0,49	0,44
20,00	0,00	0,70	0,63
30,00	0,00	0,90	0,81

nais, pode-se observar na Tabela 3, que o canal de solo natural compactado, para a vazão máxima de 20 l/s, a velocidade máxima atingida foi de 0,80 m/s, superando a velocidade máxima não erosiva para canais de terra (0,75 m/s), estabelecida por ZIMERMAN (1970), razão provável da erosão de 16,8 mm obtida com esta alta velocidade. Percebe-se ainda que para vazões menores e conseqüentemente velocidades menores também, processou-se erosão, indicando assim, que com este tipo de revestimento, para se conseguir velocidades dentro da faixa limite das velocidades máximas não erosivas (0,30 - 0,75) estabelecidas por ZIMERMAN (1970), necessário se faz aumentar a secção do canal.

Na Tabela 4, figuram também os valores das velocidades obtidas com as diversas vazões usadas no canal revestido com solo-cimento plástico. Comparando-se essas velocidades com as da Tabela 3, vê-se que para este tipo de revestimento, embora sua secção transversal fosse aumentada, as velocidades superaram às do canal testemunha. Isto se registrou devido a que a rugosidade do canal testemunha ( $n = 0,025$ ) é maior do que aquela do canal de solo-cimento plástico ( $n = 0,012$ ) NETO (1973). A velocidade máxima 1,0 m/s alcançada neste canal está dentro dos limites estabelecidos por POIRÉE & OLLIER (1970), que é de 0,75 a 1,50 m/s para canais revestidos e de pequenas dimensões.

Por meio da tabela 5, nota-se que a velocidade mínima atingida no canal revestido com brita que foi construído com as mesmas dimensões do canal revestido com solo-cimento plástico, foi de 0,44 m/s com a vazão mínima de 5,0 l/s e a velocidade máxima de 0,90 m/s foi fornecida pela vazão máxima de 30 l/s. Estes valores foram inferiores aos do canal de solo-cimento plástico, justamente por ser este tipo de revestimento mais rugoso do que aquele ( $n = 0,14$ ) NETO (1973).

A Tabela 6, apresenta os valores das velocidades da água obtidas por QUEIROGA & FERREIRA (1974) no canal revestido com membrana de bentonita. Observa-se que a velocidade máxima alcançada foi de 0,85 m/s para uma vazão de 35 l/s. Esta velocidade máxima se acha fora dos limites das velocidades máximas não erosivas para canais de argila compactada estabelecidos por POIRÉE & OLLIER (1970), que são de 0,60 a 0,75 m/s, o que conseqüentemente produziu uma grande erosão a qual fez com que ao final das 20 horas de escoamento, com a vazão de 35 l/s o canal ficasse totalmente destruído. Para cada velocidade foi observada uma certa erosão não determinada.

Dentre os tipos de revestimento usados nos canais dinâmicos, inclusive a membrana de bentonita, o solo-cimento plástico, e a brita, são os que melhores condições de resistência à erosão apresentaram. Isto faz crer que o seu emprego em canais de perímetros irrigados será bem sucedido, sen

TABELA 6 - VELOCIDADES DE ESCOAMENTO DA ÁGUA OBSERVADAS DURANTE A OPERAÇÃO DO CANAL DINÂMICO REVESTIDO COM MEMBRANA DE BENTONITA (QUEIROGA & FERREIRA, 1974).

VAZÃO (l/s)	T E M P O (hora)	BASE DO CANAL (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1,00	20	10	0,29
12,00	20	10	0,72
35,00	20	10	0,85

do que, o solo-cimento plástico, demonstra ser mais eficiente do que o outro tendo-se em mente que aquele apresentou maior permeabilidade.

### C - ANÁLISE ECONÔMICA DOS REVESTIMENTOS DE CANAIS USADOS

Em virtude da falta de informações oficiais existente na região, quanto ao valor real da água economizada (Vw), este foi estipulado, considerando-se os valores atuais da terra (Nov. 1976) com e sem água disponível no verão para a zona do brejo e do sertão paraibano<sup>1/</sup>.

Para o sertão, terra com água disponível no verão considerou-se seu valor como Cr\$ 8.000,00/ha e sem água Cr\$ 2.000,00/ha. Para o brejo, terra com água disponível no verão calculou-se seu preço em torno de Cr\$ 20.000,00/ha e sem água Cr\$ 5.000,00/ha.

Adotou-se o uso consuntivo médio de algumas culturas (cebola, melão, tomate, milho, feijão) do projeto de irrigação de Sumê o qual foi de 4.360 m<sup>3</sup>/ha.

Havendo disponibilidade de água, a terra sofre um acréscimo no preço de Cr\$ 6.000,00 para o sertão e Cr\$

---

<sup>1/</sup> *Fazendeiros das regiões*

15.000,00 para a zona do brejo. Irrigando-se 1 ha (nas condições acima citadas), necessita-se de 4.360 m<sup>3</sup> de água, então o volume de água necessário para se irrigar 1 ha de terra no sertão valerá Cr\$ 6.000,00 e no brejo Cr\$ 15.000,00. Consequentemente, o valor de 1 m<sup>3</sup> de água no sertão será de Cr\$ 1,40 e no brejo, Cr\$ 3,44. De posse desses dados, utilizou-se a fórmula anteriormente citada (Capítulo III) e determinou-se a viabilidade econômica de cada um dos tipos de revestimento testados. Para se determinar os custos anuais dos revestimentos, considerou-se quarenta anos de vida útil para os canais revestidos com solo-cimento plástico e brita, 30 para os canais de bentonita PPI (1971), e quatro anos para o canal de plástico.

A Tabela 7 apresenta os resultados do estudo da viabilidade. Nela aparecem os benefícios e custos anuais e a relação benefício/custo para cada um dos revestimentos usados no presente trabalho e para os revestimentos de bentonita testados por QUEIROGA & FERREIRA em 1974. Os resultados são apresentados separadamente para a zona do sertão e do brejo paraibano. A análise da tabela permite observar que os canais revestidos com solo-cimento plástico, brita, membrana de bentonita e tijolos de bentonita, por apresentarem os benefícios anuais superiores aos custos, são economicamente viáveis. Enquanto que o plástico, em virtude da sua curta vida útil (4

TABELA 7 - BENEFÍCIOS ANUAIS, CUSTOS ANUAIS E RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO (B/C) PARA DUAS REGIÕES DO ESTADO DA PARAÍBA, PARA OS DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTO USADOS

**SERTÃO**

REVESTIMENTO	BENEFÍCIOS ANUAIS (Cr\$/km)	CUSTOS ANUAIS (Cr\$/km)	B/C
SOLO CIMENTO-PLÁSTICO	2.336,62	1.660,00	1,4
BRITA	2.027,99	1.442,50	1,4
PLÁSTICO	1.595,30	11.300,00	0,14
MEMBRANA DE BENTONITA	1.593,60	1.506,66	1,1
TIJOLOS DE BENTONITA	1.593,80	1.506,66	1,1

**BREJO**

REVESTIMENTO	BENEFÍCIOS ANUAIS (Cr\$/km)	CUSTOS ANUAIS (Cr\$/km)	B/C
SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO	2.355,62	1.660,00	1,42
BRITA	2.040,32	1.442,50	1,41
PLÁSTICO	1.614,65	11.300,00	0,14
MEMBRANA DE BENTONITA	1.610,47	1.506,66	1,1
TIJOLOS DE BENTONITA	1.593,60	1.506,66	1,1

anos), embora sendo completamente impermeável e que o custo de instalação seja inferior aos dos demais, é antieconômico visto ter apresentado os custos anuais maiores do que os benefícios e conseqüentemente a relação benefício/custo inferior à unidade.

É importante assinalar que, com um estudo mais detalhado sobre o valor da água, ou seja, os benefícios que esta proporciona à agricultura irrigada, podendo-se obter por exemplo duas ou mais colheitas anuais para culturas de ciclo curto; aumento na produção decorrente do uso de fertilizantes, melhor exploração da terra cujo fator limitante seja a água para a introdução de culturas mais rentáveis na região, etc. Este valor tornar-se-á bem maior, proporcionando assim uma elevação nos benefícios anuais em consequência do uso de revestimentos nos canais de irrigação. Na falta também de um valor mais concreto para "M" (economia anual, em centavos, na operação e manutenção, devido ao uso do revestimento), utilizou-se para este 3,5% do custo do canal PPI (1971). Vale observar ainda, que uma das variáveis de alto valor para o estudo da viabilidade econômica dos revestimentos de canais que é o "D" (economia anual, em centavos, ao reduzir os custos de drenagem, terras recuperadas, segurança contra quebras, melhoramento da aparência do canal, por unidade de canal), não foi introduzida neste estudo porque, lamentavelmente, no Brasil não existe nenhuma pesquisa acerca disso, da qual fosse

possível extrair um valor com boa margem de segurança.

Analisando-se a relação benefício/custo, conclui-se que os revestimentos solo-cimento plástico e brita apresentam valores iguais. Isto não deveria ocorrer considerando que o primeiro é mais impermeável do que o segundo. Uma possível explicação poderia ser que o valor da água economizada, contribuiu muito pouco nos cálculos dos benefícios anuais conforme já foi dito anteriormente. Além disso, observa-se na Tabela 7 que os custos anuais do canal de solo-cimento plástico são mais elevados que os de brita.

Em decorrência da menor vida útil dos canais de bentonita (30 anos), com relação a dos anteriormente citados (40 anos), estes apresentaram relação benefício/custo menor.

Baseando-se nos resultados da análise econômica dos revestimentos de canais estudados, pode-se ver que, com exceção do revestimento de plástico, os de solo-cimento plástico, brita, e bentonita são economicamente viáveis. Entretanto, a decisão a ser tomada, ao eleger-se um deles, implica num meticoloso estudo para cada valor utilizado, porque estes são variáveis com as condições locais. Logicamente, em regiões onde há depósitos naturais de bentonita, o mais econômico será revestir-se os canais com aquele tipo de revestimento e não com o de solo-cimento plástico, mesmo que este tenha

apresentado a relação benefício/custo superior à daquele. Ou ainda, nos locais em que não haja disponibilidade de solo arenoso, deve-se optar pelo revestimento com brita ao invés do solo-cimento plástico.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados permite concluir e recomendar o seguinte:

- 01 - Entre os tipos de revestimento de canais estudados, a membrana de plástico polietileno, foi o mais eficiente no estudo das perdas de água por infiltração ao reduzi-las totalmente. Contudo, o seu uso como membrana exposta é antieconômico, conforme demonstrou a análise econômica. O seu emprego é limitado a curto prazo, dois a três anos.
- 02 - O solo-cimento plástico demonstrou elevada impermeabilidade (infiltração média de apenas 0,37 cm/dia), resistência às intempéries ambientais, à erosão provocada pelo

movimento da água e pouca incidência de ervas daninhas o que minimiza os custos de manutenção. O seu estudo econômico, indicou ser ele o mais viável e seu uso é recomendado com solos arenosos.

- 03 - O canal revestido com brita apresentou as mesmas vantagens do solo-cimento plástico, mas suas perdas de água foram maiores atingindo uma infiltração média de 2,63 cm/dia.
- 04 - O canal de solo natural compactado (testemunha), apresentou a máxima infiltração média, ou seja, 7,256 cm/dia. Elevada incidência de ervas daninhas, fraca resistência à ação intemperizadora do meio e quando testado no canal dinâmico, registrou-se elevada erosão (37 mm).
- 05 - A infiltração dos canais, não foi significativamente alterada pelos períodos secos e molhados, alternadamente.
- 06 - A infiltração dos canais revestidos com bentonita, foi maior do que a do solo-cimento plástico. Mas o estudo econômico, demonstrou que os mesmos são economicamente viáveis.
- 07 - Finalmente, conclui-se que embora faltando dados concre-

tos para um estudo mais detalhado da viabilidade econômica dos revestimentos, este trabalho constitui uma tentativa pioneira de quantificação da água economizada com o uso dos revestimentos, bem como uma nova tecnologia no Nordeste brasileiro de estudo de viabilidade econômica de revestimentos de canais de irrigação.

08 - Recomenda-se:

- Uma pesquisa similar em que se testem várias percentagens da mistura solo-cimento plástico, associando - se com a mínima infiltração e custos, para que se possa fazer uma análise econômica completa acerca dos diversos tipos de revestimento já estudados.
- Um estudo mais demorado a fim de testar a vida útil do solo-cimento plástico.
- Estudar detalhadamente o valor da água economizada em face ao emprego dos revestimentos.

Determinar a:

- Economia anual na operação e manutenção devido ao uso de revestimentos. Economia anual ao reduzir os custos de drenagem, terras recuperadas, segurança contra quebra

duras, melhoramento da aparência do canal, a fim de que, em futuras pesquisas dessa natureza, disponha-se de dados concretos para o uso do método.

## B I B L I O G R A F I A

- 01 - BUREAU OF RECLAMATION. Measuring Seepage in Irrigation Canals by the Ponding Method. Irrigation Operation and Maintenance 65:1-21. 1968.
- 02 - DAKER, Alberto. Irrigação e Drenagem. In: —. A Água na Agricultura. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S.A., 1970, 3v.
- 03 - DAKER, Alberto. Hidráulica Aplicada à Agricultura. In: —. A Água na Agricultura. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S.A., 1971, 1v.
- 04 - FUENTES C., Victor. Estudio de Métodos, Eficiencia y Costos en Revestimientos de Canales. Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile, (Tesis de Ing. Agr., mimeografiada).
- 05 - GRASSI, C. J. Métodos de Riego. Mérida, CIDIAT, 1972.
- 06 - GRASSI, C. J. Estimación de los Usos Consuntivos de Agua

y Requerimientos de Riego con Fines de Formulaci3n y Dise1o de Proyectos. M3rida, CIDIAT, 1968.

- 07 - ICID. "Transactions of the Third Congress on Irrigation and Drainage, 1957". Vol. II.
- 08 - ICID. Controlling Seepage Losses from Irrigation Canals. World-Wide Survey. 1967. p. 61
- 09 - ISRAELSEN, O. W. & HANSEN, V. E. Principios y Aplicaciones del Riego. Barcelona, Editorial Revert3, S. A., MCMLXV.
- 10 - LAURITZEN, C. W. A Test of Durability of Canal Lining Materials is Their Ability to Resist Root Penetration. Farm & Home Science 14(3):58-59. September 1953.
- 11 - LAURITZEN, C. W. Asphalt-Coated Jute Liner Developed for Canals and Reservoirs. Farm & Home Science 21(1):12-13, 28-29. March 1960.
- 12 - LAURITZEN, C. W. Butyl-Coated Fiberglas Intact After Nine Years Use as a Canal Liner. Farm & Home Science 18(2):49. June 1957.
- 13 - LAURITZEN, C. W. Canal and Reservoir Lining. New Mexico. College of Agriculture and Mechanic Arts, State College, 1956, 14p. (Mimeographed).

- 14 - LAURITZEN, C. W. Lining Irrigation Laterals and Farm Ditches. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, 1961, 11p. (Agriculture Information Bulletin No 242).
- 15 - LAURITZEN, C. W. Plastic Liners for Reservoirs. What's New in Crops & Soils 10(3):19-20. December 1957.
- 16 - LAURITZEN, C.W. Ways to Control Losses from Seepage. U.S. Department of Agriculture Yearbook 1955:311-320.
- 17 - LAURITZEN, C.W. & HANS, Frank W. Asphalt-Burlap Linings for Canals and Reservoirs. Agricultural Engineering 40 (6):340-342, 344. June 1959.
- 18 - LAURITZEN, C. W. et alii. Plastic Film for Controlling Seepage Losses in Farm Reservoirs. Utah. Agricultural Experiment Station, Logan, 1956, 18p. (Bulletin 391).
- 19 - LAURITZEN, C. W. & ISRAELSEN, O. W. Earth Linings for Irrigation Canals and Reservoirs. Soil Science Society of America. Proceedings 13(4):531-538. 1948.
- 20 - LAURITZEN, C. W. & RASMUSSEN, W. W. Lining Canals and Reservoirs to Reduce Conveyance Losses. Utah. Agricultural Experiment Station, Logan, 1952, 24p. (Circular 129).
- 21 - LAURITZEN, C. W. & PETERSON, W. H. Butyl Fabrics as Canal Lining Materials. Utah. Agricultural Experiment Sta-

- tion, Logan, 1953, 16p. (Bulletin 363).
- 22 - LEE, Brice F. Bentonite "SWELL". Soil Conservation 22(11):260-262. June 1957.
- 23 - LEE JR., Brice F. You'll Like Bentonite; It Saves Irrigation Water. What's New in Crops & Soils 9(1):12-13. December 1956.
- 24 - MILLAR, Agustim A. & BOERS, Maarten. Uso de Bentonita no Controle das Perdas por Filtração em Canais de Irrigação. 12 p. (Apresentado no III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem. Fortaleza, 1975).
- 25 - MILLER, T.A. H. Use of Concrete on the Farm. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, 1944, 62p. (Farmers' Bulletin Nº 1772).
- 26 - MINISTÉRIO DO INTERIOR. GRUPO EXECUTIVO DE IRRIGAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA. Programa Plurianual de Irrigação. Metodologia de Avaliação Econômica. Rio de Janeiro, Tahal Consulting Engineers Ltd., & Sondotécnica Engenharia de Solos S.A., 1971. Vol. 5, Anexo 26, p. 95-96.
- 27 - MOORE, R.E. The Relation of Soil Temperature to Soil Moisture: Pressure Potential, Retention and Infiltration Rate. Soil Science Society of America. Proceedings 5(1):61-64. 1940.

- 28 - NETTO, J.M. de Azevedo & ALVAREZ, G. Acosta. Manual de Hidráulica. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1973. Vol I e II.
- 29 - OLIVIER, Henry. Irrigation and Water Resources Engineering. New York, Cramer Russak, 1971
- 30 - POIRÉE, Maurice & OLLIER, Charles. El Regadío. Redes, Teoría, Técnica y Economía de los Riegos. 2ª ed. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, S.A., 1970.
- 31 - ROHWER, Carl & STOUT, Oscar Van Pelt. Seepage Losses from Irrigation Channels. Colorado. Agricultural Experiment Station. Fort Collins, 1948, 100p. (Technical Bulletin Nº 38).
- 32 - SHEN, R. T. Mixing Bentonite for Sealing Purposes. Colorado. State University. Extension Service, 1959, 9p. (Circular 204-A).
- 33 - SHEN, R. T. Sealing farm Ponds and Reservoirs with Bentonite. Colorado. State University. Extension Service, 1959, 9p. (Circular 208-A).
- 34 - SHEN, R. T. Sealing Rocky Ditches with the Bentonite Multiple-dam Method. Colorado. State University. Extension Service, 1959, 9p. (Circular 203-A)

- 35 - SHARG, V. I. Impervious Linings in Subsurface Soils. Soviet Soil Science 707-715. July 1958.
- 36 - SWEET, C. L. Will Chemistry Reduce Seepage Losses? The Reclamation era 45(4):90-91. November 1959,
- 37 - U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Canals and Related Structures; Canals and Laterals. Denver, Colorado. U.S. Bureau of Reclamation, 1962. pp 1.1-1.20. (Design Standards No 3).
- 38 - U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Linings for Irrigation Canals. Denver, Colorado. U.S. Bureau of Reclamation. First Edition, 1963, 149 p.
- 39 - ZIMMERMAN, J.D. El Riego. México, Compañía Editorial Continental, S.A., 1974.