

# **Canais de rega em Portugal: soluções, patologia e reabilitação**

## **Portuguese irrigation canals: lining solutions, pathology and rehabilitation**

**Filipe Morgado<sup>1</sup>, Jorge Grandão Lopes<sup>2</sup>, Jorge de Brito<sup>3</sup>, João Feiteira<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Eng.º Civil, Mestre em Engenharia Civil (IST)*

*fmamorgado@gmail.com*

<sup>2</sup>*Eng.º Civil, Investigador Coordenador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa*

*glopes@lnec.pt*

<sup>3</sup>*Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior*

*Técnico, Universidade Técnica de Lisboa*

*jb@civil.ist.utl.pt*

<sup>4</sup>*Eng.º Civil, Mestre em Engenharia Civil (IST)*

*j.feiteira@gmail.com*

**RESUMO:** Os canais de rega são infraestruturas hidráulicas fundamentais do ponto de vista da agricultura e o seu desempenho depende fortemente da eficiência e durabilidade dos seus revestimentos. Este artigo apresenta as principais conclusões de um levantamento feito em Portugal em que se confirmou que na maioria das situações se recorre às seguintes soluções construtivas: betão executado no local, lajes pré-fabricadas de betão e membranas pré-fabricadas (de betume-polímero ou PVC). Estes revestimentos podem apresentar diversas anomalias com consequências significativas na quantidade de água perdida por falta de impermeabilização. Estas anomalias são classificadas em função do tipo de revestimento e as suas principais causas são identificadas. Finalmente, é feito um conjunto exaustivo de recomendações e descritas as soluções de reabilitação que permitem minorar as perdas de águas nos canais.

**ABSTRACT:** Irrigation canals are primary hydraulic infrastructures from an agricultural point of view and their performance is highly dependent on the efficiency and durability of their coatings. This paper presents the main conclusions of a survey undertaken in Portugal which concluded that in most situations the following technologies are used: concrete cast on site; precast concrete slabs; prefabricated membranes (polymer bitumen or synthetic). These linings may manifest various pathologies with significant consequences on the amount of water lost due to lack of watertightness. These defects are classified by lining solution and their main causes identified. Finally, an exhaustive set of recommendations and rehabilitation techniques are described in order to minimize water leakage from the canals.

### **1 INTRODUÇÃO**

Os canais de rega são infra-estruturas hidráulicas de grande importância, que contribuem para o desenvolvimento de uma agricultura desejavelmente sustentável e para a fixação da população agrícola. O principal objectivo dos canais de rega é o transporte do maior volume de água a longas distâncias com custos de operação e manutenção o mais baixos possível. Assim, a impermeabilização dos canais de rega revela-se de uma grande importância, devendo ser cuidada a sua concepção e execução, tanto de novos canais

como da reabilitação de existentes.

Em Portugal, existem centenas de quilómetros de canais de rega construídos nas décadas de 50 e 60 do século XX que servem cerca de 40 aproveitamentos hidroagrícolas de carácter público construídos pelo Estado, os quais interessam cerca de 150.000 hectares equipados. Cerca de 80% destes canais apresentam graves problemas de estanqueidade à água, chegando as perdas de água a atingir cerca de 80% do volume transportado [1] [2]. A falta de aproveitamento conveniente deste recurso natural levou a que fossem tomadas medidas para reduzir estes valores, tornando mais

eficiente o uso deste recurso, especialmente na agricultura. Uma das principais medidas a tomar consistiria naturalmente na reabilitação dos canais de rega através da adopção de soluções de impermeabilização adequadas para cada um deles, para tentar atingir o objectivo previsto no *Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água* [3] que consiste em reduzir os desperdícios para menos de 35% até 2013.

Os principais objectivos do trabalho são: levantamento dos processos de impermeabilização ou revestimentos existentes nos canais de rega; identificação das principais anomalias verificadas nesses canais, das causas prováveis para a sua ocorrência e das técnicas de reabilitação das mesmas.

Para além de uma pesquisa bibliográfica feita sobre o tema, a realização do estudo teve o apoio imprescindível da “Associação de Regantes e Beneficiários” portuguesa, através da qual foi possível realizar visitas a canais de rega sem intervenções de reabilitação, já impermeabilizados e com obras de impermeabilização a decorrer. Nessas visitas, foi assim possível observar as anomalias relacionadas com as deficiências de estanqueidade à água dos canais, bem como os materiais e as técnicas de aplicação utilizadas na sua reabilitação.

## 2 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EXISTENTES

### 2.1 Generalidades

Os canais para transporte de água podem classificar-se segundo várias ópticas, entre as quais a secção transversal do canal e o tipo do canal. Relativamente às secções, são as trapezoidais, rectangulares e a meia cana as mais correntes. Quanto ao tipo, os mais usuais são naturalmente os canais a céu aberto assentes sobre o terreno, sendo no entanto necessário nalguns casos executar canais em túnel, pontes-canal, sifões invertidos e mesmo condutas, geralmente circulares, para ultrapassar constrangimentos do terreno ao longo do desenvolvimento do canal.

Em Portugal, os canais existentes são fundamentalmente de betão simples, ou nalguns casos de betão armado, existindo também canais constituídos com lajetas pré-fabricadas de betão. Na reabilitação da maioria deles, utilizam-se fundamentalmente membranas prefabricadas de

betume-polímero ou de PVC e, em menor número, tintas ou produtos pastosos impermeáveis. O tempo de execução, o custo e a durabilidade das soluções construtivas são também para este tipo de obras os principais factores a ter em conta na escolha da respectiva solução.

São agora descritas sucintamente as principais características de cada uma das soluções referidas.

### 2.2 Canais de betão simples ou armado executado no local

Sendo o betão um material de construção muito versátil, é por isso aplicado nos mais diversos tipos de obras, de que também são exemplo os canais. Apesar de ser o material mais comum em canais, constituindo por si só a camada que deve garantir a estanqueidade à água (à semelhança do que se passa com alguns tipos de reservatórios de água ou depósitos similares), é importante ter-se em atenção a forma como este é produzido, aplicado, compactado, curado e conservado. O facto da generalidade dos canais ser executada em betão simples mostra que a componente estrutural poderá ser menos relevante do que o seu desempenho do ponto de vista da estanqueidade à água, devendo-se nestes casos ter os cuidados necessários de análise do comportamento do betão aos esforços mecânicos a que está sujeito para que seja controlada a sua fendilhação.

De facto, a maioria das infiltrações em canais de betão não ocorre geralmente pela falta de estanqueidade do material betão, mas sim devido a factores externos, entre os quais os efeitos dos assentamentos e deslocamentos do terreno que confina com a estrutura do canal; constata-se assim que as perdas de água por infiltração não ocorrem uniformemente ao longo da superfície do canal em betão, mas sim, fundamentalmente, através das fissuras que se formam ou das juntas que não se encontram correctamente vedadas.

Mesmo em canais de betão simples, é necessário muitas vezes realizar troços de betão armado, geralmente localizados em zonas de perturbações do escoamento, e, conseqüentemente, de variação de pressões, como, por exemplo, as de mudança de secção em comportas e estreitamentos.

#### 2.2.1 Juntas em canais de betão

As juntas num canal de betão (Fig. 1) podem

classificar-se em três tipos, consoante a função principal que cada uma delas desempenha: juntas de construção, longitudinais e transversais.



Fig. 1 - Canal de betão com juntas transversais e longitudinais

As juntas transversais são aquelas que permitem absorver as deformações segundo o eixo do canal, minimizando os fenómenos resultantes da expansão ou da contracção do betão.

As juntas longitudinais têm como principal finalidade proporcionar ao canal uma dada flexibilidade que previna a fissuração resultante dos movimentos diferenciais do solo; devem ser previstas sobretudo quando a espalda do canal é executada em camadas de solo distintas ou com índices de compactação diferentes, como quando se executa o canal em escavação e em aterro.

As juntas de construção têm como principal função garantir um desempenho adequado da zona de transição de betões de idades distintas, como é o caso da que resulta da interrupção das betonagens. Podem ser executadas segundo a secção transversal ou longitudinal do canal. São exemplo deste último caso as juntas entre o fundo ou a base do canal e as espaldas, quando a betonagem destas não é feita simultaneamente com a da base.

A aderência aos flancos da junta do material de vedação utilizado é naturalmente uma das suas principais características. Essa aderência depende desse material e das condições em que se apresentem as respectivas superfícies de aderência.

### 2.2.2 Técnicas de construção de revestimentos de betão

Existem vários sistemas de construção para o revestimento de canais de betão, desde os mais tradicionais sem recurso a qualquer tipo de cofragem e com regularização e compactação muitas vezes deficientes, até aos mais sofisticados

e modernos utilizando equipamentos que permitem uma betonagem contínua em toda a secção transversal do canal. É prática corrente, em canais de secção transversal trapezoidal, a execução do revestimento de betão em primeiro lugar nas espaldas e só depois no fundo ou rasto do canal; a excepção a esta regra é o processo de cofragem deslizante aplicada portanto a toda a secção transversal do canal.

As principais técnicas de construção de revestimentos de betão de um canal de rega consistem na compactação e regularização manual do betão, na utilização de sistemas de cofragem tradicional e de cofragem deslizante transversal ou longitudinal.

A aplicação, compactação e regularização manual é a técnica mais tradicional utilizada na construção de revestimentos de betão e consiste na aplicação simples do betão sobre o terreno de escavação e na sua regularização com régua e mestras (Fig. 2). Algumas desvantagens desta técnica resultam da fluidez do betão, pois se for muito fluido pode deslizar para o fundo do canal e, se estiver muito seco, a sua compactação será mais difícil e a sua porosidade aumenta. É também difícil de conseguir uma espessura uniforme, garantindo um valor mínimo para esta característica geométrica.

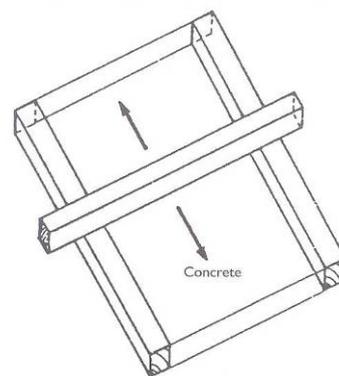


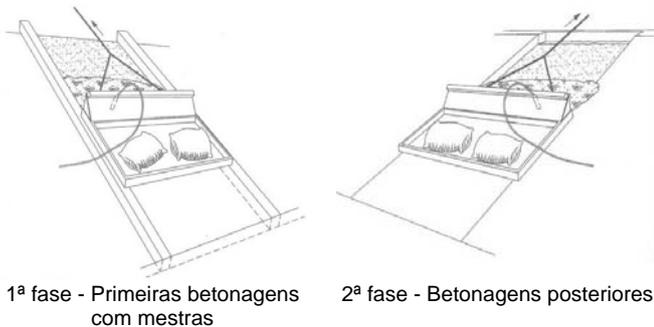
Fig. 2 - Técnica manual de regularização de revestimento de betão em espaldas [4]

O sistema de cofragem tradicional consiste na utilização de painéis correntes de madeira ou metálicos devidamente amarrados (Fig. 3). Uma das principais dificuldades que se verifica na fase de betonagem é a garantia do correcto escoramento da cofragem, sentida principalmente na zona inferior das espaldas junto ao rasto, que suporta maiores pressões do betão fresco; esta pressão aumenta com o aumento da inclinação das espaldas em relação à horizontal. A vibração e

compactação do betão são também aspectos essenciais na escolha de um sistema de cofragem / betonagem. A cofragem deslizante transversal é um sistema em tudo idêntico ao de compactação e regularização manual. Em ambos as técnicas se utilizam mestras para definir o plano final da espalda, isto é, a sua espessura. A principal diferença é a forma como é executada a regularização e compactação do betão, sendo no caso da cofragem deslizante executadas com um painel de cofragem, puxado na parte superior do canal, que desliza do rasto até ao topo da espalda (Fig. 4).



Fig. 3 - Sistema de cofragem tradicional de espaldas



1ª fase - Primeiras betonagens com mestras      2ª fase - Betonagens posteriores

Fig. 4 - Cofragem deslizante transversal [4]

A cofragem deslizante longitudinal é disposta transversalmente na secção do canal, deslizando na direcção longitudinal do mesmo, em vez de segundo a sua secção transversal. O sistema pode ser aplicado ao longo de toda a secção transversal do canal (Fig. 5a), ou apenas em parte dela (Fig. 5b) e executa-se com recurso a equipamentos específicos com vibradores incorporados.



a) Cofragem deslizante em toda a secção      b) Cofragem deslizante em meia secção

Fig. 5 - Equipamento de betonagem deslizante longitudinal [5] [6]

### 2.2.3 Espessura do revestimento

A espessura de um revestimento de um canal de betão é uma das suas principais características relacionadas com o seu desempenho do ponto de vista da estanqueidade à água. A sua selecção é maioritariamente condicionada por razões económicas. Um dos factores condicionantes, à semelhança de outros elementos de betão, é a dimensão máxima do agregado utilizado; nos canais, tal dimensão não deve exceder 40% da espessura total do revestimento em betão [4]. Alguns equipamentos de betonagem e cofragem deslizante compactam o betão apenas com recurso ao seu peso próprio, o que leva a que as espessuras dos revestimentos sejam menores, da ordem de 70 a 80 mm. Nos sistemas com vibrador tradicional, a espessura do revestimento tem de ser de pelo menos 0,12 m [4] para garantir a correcta aplicação do vibrador. Nem sempre poderá ficar mais económica a adopção de menores espessuras do revestimento de betão, dado que o espaçamento das juntas transversais do canal (juntas de dilatação) é proporcional à espessura desse revestimento. De uma forma simples, pode estabelecer-se a seguinte relação entre estes parâmetros [4]:

$$e = 2 F.L/t \quad \text{ou} \quad L = e.t/(2 F) \quad (1)$$

em que  $e$  é a espessura do revestimento,  $F$  é a força de atrito entre o revestimento em betão e o solo subjacente,  $L$  é a distância entre as juntas referidas e  $t$  a resistência admissível do betão à tracção.

### 2.3 Revestimento com placas pré-fabricadas de betão

Esta solução consiste na disposição ao longo do canal de lajetas pré-fabricadas de betão normalmente de forma rectangular e de dimensões diversas. Esta solução não é muito utilizada actualmente em Portugal, conhecendo-se referências da mesma dos anos 60 e 70 do século

passado. A reabilitação do revestimento do canal recorrendo a esta solução é aplicável a troços de canal onde não se registem deformações estruturais significativas, quer por abatimento de espaldas e/ou do fundo, quer por rotação e deformação da secção transversal. Esta solução de reabilitação ou de execução de obra nova tem como principais vantagens o facto de se poder garantir uma qualidade excelente do betão das placas e a possibilidade de maior coordenação entre as tarefas da empreitada que se realizam no estaleiro e as que se efectuam no local da obra, respectivamente a pré-fabricação e a aplicação em obra. Uma característica desta solução construtiva é o número significativo de juntas por unidade de superfície do canal, cujo tratamento deve merecer cuidados acrescidos para que as perdas, que são potencialmente mais fáceis de se verificar, não superem o objectivo de 25-50 l/m<sup>2</sup>. O tratamento de juntas neste tipo de revestimento é semelhante ao utilizado em juntas de canais de betão aplicado *in situ*. Sendo este um ponto crítico no que diz respeito à estanqueidade, este tipo de revestimento não será o mais recomendado se esse for o principal objectivo do desempenho do canal novo ou da reabilitação dos existentes. Usa-se normalmente este revestimento em canais sobre solos que só por si apresentem características de impermeabilidade elevada, para prevenir a sua erosão, melhorar o factor de rugosidade da sua superfície ou mesmo facilitar as operações de limpeza.

## 2.4 Revestimento com membranas prefabricadas

### 2.4.1 Generalidades

O revestimento de canais com membranas prefabricadas tem vindo a ser utilizado com frequência nos últimos 20 anos em Portugal, não tanto em canais novos mas principalmente na reabilitação de canais de betão antigos. Existem basicamente dois tipos de membranas que vêm sendo aplicadas no revestimento de canais de rega em Portugal: as membranas de base betuminosa, que na maioria das vezes é auto-protegida com granulado mineral, e as membranas sintéticas. Das primeiras são aplicadas membranas de betume - polímero APP ou SBS e das segundas as membranas de PVC (conhecem-se ainda casos de

canais revestidos a membranas de EPDM e de polietileno).

A aplicação de membranas em revestimento de canais de rega tem algumas vantagens em relação aos revestimentos de betão: pela maior simplicidade de colocação e não exigência de equipamento pesado, pode ser colocada em grandes extensões muitas vezes durante o curto período de tempo em que decorrem as campanhas de rega, minimizando assim os prejuízos nas actividades agrícolas.

Devido à menor rugosidade superficial das membranas aplicadas no revestimento de canais de rega, relativamente à da superfície do revestimento existente do canal degradado, a capacidade de transporte pode aumentar até cerca de 30% [7]; este aspecto pode ser importante quando, por razões construtivas, se é obrigado a reduzir um pouco a secção útil do canal, por exemplo devido à necessidade de colocar camadas de regularização.

A aplicação das membranas deve ser executada de jusante para montante do escoamento.

Actualmente, estas membranas são cobertas pela norma europeia NP EN 13362 [8], onde estão apresentadas as características requeridas para a aplicação destas membranas (designadas nessa norma por geomembranas) em canais. Embora não se conheçam aplicações em Portugal de barreiras argilosas, esta norma é também aplicável a este tipo de solução de impermeabilização de canais.

Essa norma dispõe de uma parte harmonizada necessária para a definição dos requisitos para a marcação CE, sendo o restante conteúdo, nomeadamente o que diz respeito aos métodos de ensaio, e respectivas características associadas, igualmente bastante útil para caracterizar as membranas em questão com o campo de aplicação em estudo. As características essenciais necessárias para a marcação CE são apenas as resistências à tracção e ao punçãoamento estático e a estanqueidade à água; a EN 13362 regista mais treze características importantes para a caracterização das membranas prefabricadas (umas aplicáveis a membranas betuminosas, outras a membranas sintéticas e outras comuns a todas as membranas).

Os casos em que as membranas fiquem aparentes, sem qualquer protecção, devem ser distinguidos dos casos contrários. A utilização de membranas expostas tem algumas vantagens e também inconvenientes que interessa ter em conta. Em relação às primeiras, realçam-se as seguintes:

- possibilidade de aplicação em canais com declives de espaldas mais acentuados, face ao não condicionalismo da estabilidade da protecção;
- menor volume de escavação, para a mesma secção molhada do canal;
- maior facilidade na localização de roturas, perfurações ou rasgos da membrana;
- melhoria significativa da rugosidade e, conseqüentemente, da velocidade de escoamento em relação a revestimentos mais rugosos, como o betão ou os agregados grossos da camada de protecção.

Em relação aos aspectos mais desfavoráveis, indicam-se os seguintes:

- maior erosão do material de revestimento devida à água com partículas sólidas em suspensão;
- envelhecimento mais acelerado face à acção directa da radiação solar;
- maior exposição ao vandalismo;
- maior sensibilidade da membrana às acções mecânicas, nomeadamente ao choque ou impacto (por exemplo, a acção dos cascos de animais que possam atravessar o canal);
- maior facilidade de deslocamento da membrana devido à tensão superficial exercida pela água no seu movimento;
- maior facilidade de empoamento da membrana devido ao efeito das sub-pressões ou de levantamento devido à acção do vento, no caso de membranas não aderentes ao suporte.

#### 2.4.2 Membranas betuminosas

Este tipo de membranas é obtido por recobrimento de uma ou duas armaduras com uma mistura betuminosa modificada, adicionando-se ao betume um polímero de APP (polipropileno atáctico) ou SBS (estireno-butadieno-estireno).

Estas membranas são armadas com armaduras geralmente de fibra de vidro e/ou de poliéster, com uma massa por unidade de superfície de cerca de 50 a 60 g/m<sup>2</sup> e 150 a 250 g/m<sup>2</sup>, respectivamente. As propriedades em tracção e ao rasgamento e a estabilidade dimensional ao calor são algumas das principais características destas membranas face ao campo de aplicação respectivo. Nas membranas auto-protegidas com granulado mineral, deve juntar-se a aderência desse granulado à mistura betuminosa. Como ordem de grandeza da resistência à tracção, apontam-se valores entre 500 e 1000 N, para membranas armadas com feltro de

poliéster, e entre 100 e 300 N para as armaduras com feltro de fibra de vidro. O valor normalmente exigido para a resistência ao rasgamento é de 100 e 50 N, respectivamente nos casos em que a membrana é ou não fixa mecanicamente ao suporte.

A extensão na força máxima em tracção é da ordem de 20 a 50% e 1 a 3%, respectivamente para armaduras de poliéster e fibra de vidro.

Não existe actualmente documentação oficial em Portugal de suporte à escolha e aplicação de membranas betuminosas como revestimento de canais; para a caracterização destas membranas, recorre-se à EN 13362. As técnicas e procedimentos adoptados são geralmente os utilizados em coberturas ou elementos enterrados de edifícios, seguindo também amiúde as recomendações do fabricante. A experiência de obras anteriores é um elemento importante para a introdução de melhorias nas condições de aplicação. Este revestimento deve ser aplicado sobre um suporte mais rígido do que ele próprio e o betão do revestimento antigo do canal é o suporte mais usual (Fig. 6).



Fig. 6 - Aplicação de membrana betuminosa com a chama de um maçarico sobre um primário betuminoso

A ligação da membrana na zona corrente é feita normalmente a quente com a chama de maçarico, pressionando-a à medida que vai sendo desenrolada e colada ao suporte (Figs. 6 e 7), sendo a fixação mecânica - constituída por bandas metálicas (preferencialmente de aço inox) fixas com parafusos - apenas usada no início de cada troço de revestimento do canal (desenvolvendo-se segundo todo o perímetro da secção do canal), dado que a soldadura por acção da chama de maçarico é, na maioria dos casos, suficiente para garantir uma boa aderência ao suporte. Uma outra forma de realizar esta fixação inicial da membrana

consiste na criação de um maciço de amarração com abertura de um roço no próprio canal, onde se fixa a membrana e depois se colmata com argamassa (Fig. 8).



Fig. 7 - Vista de canal da Fig. 6 de betão reabilitado com membranas betuminosas

A membrana deve ser aplicada de modo a que as juntas de sobreposição tenham uma largura de 10% da largura do rolo, que é geralmente de 1,00 ou 1,10 m. As juntas de sobreposição devem ser realizadas utilizando o equipamento referido para a zona corrente do canal.



Fig. 8 - Ancoragem transversal com argamassa de uma membrana betuminosa

Devido à presença frequente de vegetação nas margens dos canais (Fig. 9), é importante aplicar apenas membranas com aditivo anti-raízes incorporado na respectiva mistura betuminosa.



Fig. 9 - Vista de um canal e da vegetação ao longo das margens e nos materiais betuminosos de revestimento

### 2.4.3 Membranas sintéticas

Em Portugal, existem várias experiências de aplicação de membranas sintéticas, sendo as mais utilizadas na impermeabilização de canais de rega de PVC, de PEAD e de EPDM, disponíveis no mercado em várias espessuras de 0,5 a 3 mm. As membranas de menores espessuras apenas podem ser utilizadas quando protegidas com uma camada de protecção pesada apropriada (por exemplo, gravilha ou lajetas pré-fabricadas de betão) e em canais de menor importância.

As membranas de PVC, as mais usuais entre as referidas e aplicadas para este efeito em Portugal desde há cerca de 15 anos, são constituídas por resinas de policloreto de vinilo, plastificantes, estabilizantes e cargas, com ou sem armadura.

Quando existem armaduras, estas são geralmente também de poliéster ou de fibra de vidro. A incorporação de armaduras na membrana, para além de melhorar o seu desempenho sob o ponto de vista mecânico, minimiza os efeitos das retracções e variações dimensionais, devidas à perda de plastificantes e à acção da temperatura. Em Portugal, existem aplicações de membranas armadas e não armadas, algumas delas dispendo de um feltro na face inferior da membrana.

Quanto aos outros constituintes, os plastificantes são aqueles que têm uma grande importância e representam cerca de 30 a 40%, se a membrana for obtida por calandragem, e cerca de 20% se a membrana for obtida por extrusão da mistura de PVC. Quanto menor for esta incorporação, maior será a rigidez da membranas e menor a sua ductilidade e flexibilidade. Os plastificantes são normalmente monómeros

(ésteres fetálicos) e podem ser razoavelmente voláteis e/ou removidos por acção de solventes entre os quais a água. Estes monómeros têm uma incompatibilidade química com betumes e óleos de origem mineral, o que pode levar a uma migração de plastificantes e, conseqüentemente, à rotura da membrana. No revestimento de canais de rega, este é um aspecto a ter em conta principalmente nas zonas de transição entre membranas betuminosas e membranas de PVC.

As membranas sintéticas são o revestimento mais flexível de todos os já apresentados. No estado novo, têm maior resistência aos efeitos provocados pelo movimento da água arrastando partículas sólidas do que as membranas betuminosas e os revestimentos de betão. Face à sua constituição, comparativamente com as membranas betuminosas, têm menos tendência a fluidificar por acção de temperaturas elevadas, sendo esta característica mais importante nas superfícies das espaldas.

Estas membranas são também fornecidas em rolos que podem ter larguras variáveis; idealmente, os rolos deveriam ter a largura correspondente a um pouco mais do perímetro da secção transversal (para permitir a amarração no topo do canal), não sendo deste modo necessário executar juntas de sobreposição longitudinais, o que nem sempre é possível em canais de grande secção. Nos canais de rega observados em Portugal, verifica-se que as membranas betuminosas são dispostas com a direcção de fabrico (longitudinal) perpendicular ao desenvolvimento do canal. O mesmo não se passa com as membranas sintéticas (Fig. 10).



Fig. 10 - Vista de um canal com membranas de PVC

As juntas de sobreposição destas membranas devem ter largura de pelo menos 0,30 m, podendo ser realizadas através da aplicação de uma cola apropriada, ou utilizando pistolas de ar quente.

Estas membranas são geralmente aplicadas em

sistemas independentes do suporte, contrariamente às membranas betuminosas que são em geral totalmente aderentes ao suporte. Por esta razão e sobretudo quando as membranas não são protegidas, como acontece com a maioria das aplicadas em Portugal, é muito importante dimensionar adequadamente o sistema de amarração das membranas nas pestanas do canal e, eventualmente, no fundo e nas espaldas do mesmo.

Existem vários tipos de fixação das membranas. O mais simples consiste na abertura de uma vala com cerca de 0,30 m x 0,30 m de cada lado do canal, junto às pestanas, ao longo de todo o seu comprimento; nessa vala é encastrado o bordo da membrana e a sua amarração garantida pelo peso do material que preenche posteriormente essa vala.

Outro sistema de fixação adoptado em muitas obras em Portugal é complementar do descrito, contemplando fixações da membrana na pestana e no fundo do canal. As fixações podem ser pontuais ou contínuas, recorrendo neste caso a barras de material resistente à corrosão (Fig. 11).

Para minimizar as anomalias devidas a subpressões, são normalmente executadas com as membranas sintéticas válvulas “clapê” que permitem a entrada de água do tardo do talude para dentro do canal (Fig. 12). Estas válvulas são executadas realizando um corte na membrana e soldando uma “pestana” do mesmo material da membrana em todo o seu perímetro menos no bordo de jusante. Sob o efeito da pressão da água dentro do canal, essa “pestana” fica suficientemente ajustada à membrana de revestimento do canal, para serem mínimas as perdas de água por esse ponto singular.



Fig. 11 - Fixação mecânica pontual (à esquerda) e contínua (à direita) na pestana de um canal



Fig. 12 - Vista de válvulas “clapê” em membranas de PVC

### 3 PATOLOGIA MAIS CORRENTE

#### 3.1 Descrição das principais anomalias e das suas causas

##### 3.1.1 Canais de betão simples ou armado

Sendo o betão o material de revestimento mais utilizado nos canais de rega, este é também aquele sobre o qual existe mais informação sobre as anomalias apresentadas. Assim, as principais anomalias que se podem observar em canais de betão simples ou de betão armado são:

- fissuração do betão;
- degradação da superfície do betão;
- abatimento ou colapso do fundo ou das espaldas;
- desprendimento, descolamento ou deterioração do material vedante das juntas.

A fissuração do betão em canais de rega pode ocorrer por várias razões, a mais significativa das quais são as sub-pressões, ou seja, a pressão exercida pela água no tardo das espaldas ou no fundo do canal. Isso acontece quando a pressão hidrostática no interior do canal é inferior à pressão da água do solo e manifesta-se em zonas do canal até onde o nível freático intersecta a secção transversal do canal. Estas fissuras desenvolvem-se normalmente na direcção longitudinal do canal entre metade e um terço da altura da secção transversal. As fissuras podem também dever-se a assentamentos diferenciais do canal, segundo a secção transversal ou ao longo do seu desenvolvimento; tais assentamentos estão relacionados com deformações distintas do terreno.

A degradação da superfície do betão deve-se a vários factores, como a má qualidade do betão, a erosão provocada pelo escoamento da água e da matéria sólida em suspensão, os ciclos de gelo-

degele em zonas com temperaturas negativas e a agressão de agentes químicos presentes na água que reagem com os constituintes do betão. Em consequência, a superfície do betão torna-se progressivamente mais rugosa, modificando assim as condições do escoamento.

Quando os movimentos do solo são significativos, o canal pode apresentar, para além da fissuração do betão, deformações estruturais importantes que conduzem normalmente à rotura ou abatimento dos fundos ou das espaldas ou a rotações consideráveis destes elementos do canal.

As anomalias no material vedante das juntas, situação frequente em Portugal, podem ser provocadas pelas tensões superficiais geradas pelo escoamento da água nessas zonas e/ou pela deficiente aderência aos flancos da junta do respectivo material vedante. Quando este é formado por chapas de cobre, como acontece em muitas pontes-canal em Portugal, a rotura dessas chapas é uma das principais anomalias verificadas nestas situações particulares.

##### 3.1.2 Canais com painéis prefabricados

As principais anomalias que se podem observar em canais com painéis de betão armado são:

- abatimento / colapso do fundo ou das espaldas;
- desprendimento, descolamento ou deterioração do material vedante das juntas.

Devido ao melhor controlo de qualidade na produção do betão dos painéis, não é tão corrente verificar-se fendilhação ou degradação acentuada da superfície dos painéis. Assim, são as razões referidas em §3.1.1 as que podem conduzir ao abatimento ou colapso do fundo ou das espaldas dos canais com elementos prefabricados; neste caso, face à dessolidarização dos painéis entre si, podem ser mais significativos os movimentos relativos entre painéis adjacentes.

As anomalias associadas às juntas entre os painéis são neste caso o ponto crítico desta solução construtiva, tanto mais que a percentagem de juntas por unidade de superfície do canal é das mais elevadas, entre as principais soluções construtivas de canais de rega. As anomalias e as suas causas são as indicadas em §3.1.1.

##### 3.1.3 Revestimento com membranas prefabricadas

Para além das características das próprias membranas e dos sistemas utilizados para a sua

aplicação no canal, o comportamento deste tipo de membranas pode ser influenciado pelas condições em que se encontra o suporte. Para a percepção das causas de anomalias que nas membranas possam ocorrer, é assim essencial que seja feita a análise do seu estado de conservação.

Descrevem-se e analisam-se de uma forma sucinta as principais potenciais anomalias em cada uma das membranas descritas em §2: as devidas às sub-pressões, as relacionadas com a amarração ou ancoragem das membranas e a sua ligação ao suporte, as devidas a acções de punçoamento ou rasgamento e a condições de execução das juntas de sobreposição e as relacionadas com alguns dos pontos singulares mais significativos.

### Membranas betuminosas

Um dos problemas verificados com os revestimentos betuminosos resulta das sub-pressões. Dada a fraca rigidez deste material, a água que se infiltra no tardo do canal pode provocar o descolamento da membrana do suporte ou das juntas de sobreposição entre troços de membrana.

A estabilidade deste revestimento está directamente relacionada com a sua aderência ao suporte. Assim, quando não forem satisfatórias as condições de limpeza da superfície desse suporte ou não tenha sido aplicado um primário previamente à aplicação da membrana, pode vir comprometida essa aderência, tal como quando existem zonas do betão do suporte com fendas não estabilizadas; geralmente nestes casos a perda de aderência é apenas localizada, podendo no entanto, em casos limite, verificar-se mesmo a rotura da membrana, quando a sua resistência à tracção é reduzida (tal ocorre mais facilmente quando não há descolamento da membrana do suporte na zona das fendas, ou seja, quando é boa a sua aderência ao suporte).

A perfuração e o rasgar das membranas são duas das principais desvantagens deste revestimento, comparativamente ao de betão. A sua ocorrência resulta frequentemente do efeito provocado pelo arrastamento de ramos de vegetação pela água, da acção dos cascos dos animais que se deslocam na bordadura do canal ou que nele mesmo entram para beber água, entre outros.

O descolamento das juntas de sobreposição é uma das anomalias com maior potencial neste tipo

de membranas, face ao elevado número de juntas transversais no canal (em geral de metro a metro ao longo do desenvolvimento do canal). As suas causas estão geralmente associadas a deficiente execução, como largura insuficiente, chama do maçarico aplicada insuficientemente sobre as superfícies a ligar ou reduzida pressão exercida sobre a junta após a sua soldadura. Quando é baixa a estabilidade dimensional da armadura das membranas (o que pode acontecer com armaduras de poliéster mal formuladas), podem ainda gerar-se tensões suficientemente elevadas na superfície de aderência das membranas entre si que provoquem o seu descolamento nas juntas.

Nas amarrações e ancoragens realizadas, geralmente apenas no início dos troços com este tipo de membrana (Fig. 8), as anomalias aí observadas resultam do desgaste do maciço de amarração ou do desprendimento das fixações mecânicas devido à erosão provocada pela água e a perturbações localizadas do escoamento.

### Membranas sintéticas

A retracção das membranas de PVC e de EPDM é uma das principais anomalias em Portugal em canais de rega com esses revestimentos. A procura das suas causas necessita de estudos mais aprofundados, podendo referir-se que estará relacionada com o comportamento das membranas à radiação solar, à presença na água de substâncias adversas (nomeadamente microrganismos) que reajam quimicamente com a membrana tornando-a mais rígida, por perda de plastificantes.

As razões para o descolamento das juntas de sobreposição das membranas de PVC são as apresentadas para as membranas betuminosas, com ênfase no efeito da retracção acabado de referir.

São também semelhantes às razões apontadas para as membranas betuminosas as causas do rasgamento e perfuração das sintéticas. Para o rasgamento pode contribuir ainda a reduzida estabilidade dimensional (Fig. 13), sobretudo para membranas fixadas mecanicamente ao suporte.



Fig. 13 - Membrana de PVC rasgada

Com este processo de ligação das membranas ao suporte, pode ocorrer o arrancamento das respectivas peças de fixação. As suas causas são geralmente as características mecânicas do suporte (muito degradados) onde foram introduzidas essas peças ou a qualidade das próprias peças (corroídas). A transmissão dos esforços a essas peças é naturalmente feita pela membrana, contribuindo a sua fraca estabilidade dimensional para o aumento desses valores.

## 4 TÉCNICAS DE REPARAÇÃO E REABILITAÇÃO

### 4.1 Generalidades

A reabilitação de canais e a sua manutenção devem ser tidos em conta no seu dimensionamento e concepção, à semelhança de qualquer obra de construção. Podem-se considerar vários tipos de trabalhos de intervenção em canais após a sua entrada em serviço: reabilitação, modernização e manutenção. Qualquer destas intervenções procura retardar a deterioração do canal ou melhorar as condições de exploração, contribuindo assim para prolongar a sua vida útil.

A reabilitação refere-se a uma intervenção de fundo sobre o canal antigo que apresenta problemas substanciais, que dão origem a perdas de água excessivas por deficiências de estanqueidade.

A modernização é a modificação significativa de alguns elementos do canal para serem adaptados às novas exigências técnicas e económicas, como por exemplo a conversão de um sistema de controlo manual num sistema automático. Os novos sistemas de distribuição superficial de água utilizam uma menor quantidade de água do que os sistemas tradicionais de rega de superfície, permitindo também maior flexibilidade

nos horários de rega devido à automatização dos respectivos sistemas de rega. Os canais projectados antes da década de 80 do século passado tinham como finalidade principal o fornecimento contínuo de água aos campos de cultivos. Actualmente, essa não é a principal finalidade da maioria dos canais mas sim ter capacidade para fornecer a água necessária para a rega automatizada, disponível a qualquer hora do dia, funcionando muitas vezes mais como reservatório do que como obra hidráulica de transporte.

A manutenção / conservação inclui operações que é preciso executar periodicamente para o canal manter condições satisfatórias de funcionamento e para prevenir a sua deterioração precoce.

Uma medida que é comum a todas as soluções de reparação ou reabilitação aplicáveis às soluções construtivas de revestimentos de canais mais usadas em Portugal tem a ver com os efeitos do vandalismo ou do acesso indevido aos canais por pessoas ou animais. Estes podem ser minimizados pela colocação de vedações ao longo dos dois bordos do canal, o que nem sempre é feito devido nomeadamente aos custos envolvidos.

### 4.2 Betão simples ou armado

O efeito das sub-pressões, comum a todos os tipos de revestimento, pode ser minimizado com a realização de obras de drenagem do canal ou com o seu melhoramento, caso já exista algum tipo de drenagem que se revele insuficiente para fazer face a este fenómeno.

Quer a degradação do betão seja apenas superficial ou atinja quase toda a espessura da camada de revestimento, a reabilitação limita-se geralmente à limpeza sob pressão e colmatação das zonas degradadas com argamassa. Em casos extremos, quando a degradação é mais extensa, pode optar-se pela reconstrução da totalidade da secção transversal do canal nos troços mais afectados.

O procedimento mais correcto para tratar fissuração localizada é a realização de uma “junta” ao longo da fissura (que se costuma designar por “alegrar” a fissura), utilizando uma serra de discos, limpando-a e preenchendo-a posteriormente com um cordão flexível e um mastique (Fig. 14).

Quando o canal apresenta deformações estruturais consideráveis como o abatimento de espaldas ou do fundo, a solução de reparação passa pela reconstrução completa do revestimento.

Nestes casos, deve proceder-se a um estudo cuidadoso da origem da deformação estrutural, pois está frequentemente associada a uma drenagem insuficiente do fundo e do tardo do canal, a qual provoca um aumento da instabilidade do solo nessas zonas. As deformações de espaldas podem apenas estar associadas a deficiências de compactação do solo subjacente (Fig. 15).



Fig. 15 - Deficiente compactação da camada de solo de suporte do revestimento de betão de uma espalda

A reposição da estanqueidade à água das juntas dos canais depende da sua solução construtiva. Em canais de betão, as juntas são normalmente vedadas com mastiques sobre um fundo de junta, que, com o tempo, têm tendência a soltar-se da junta, por movimentos de retracção do betão ou tensões superficiais geradas pelo escoamento da água. A reparação consiste na substituição do mastic e eventualmente do fundo de junta respectivo.

### 4.3 Revestimento com placas pré-fabricadas

Por estarem a cair em desuso, os canais constituídos com estas placas que apresentam deficiências de estanqueidade das juntas ou anomalias nas próprias placas têm vindo a ser progressivamente reparados com recurso a outros tipos de revestimento. Segundo a bibliografia consultada, a recuperação ou reabilitação deste tipo de revestimento não se apresenta actualmente na maioria dos casos como a melhor solução técnica nem como a melhor solução económica.

### 4.4 Revestimento com membranas

#### 4.4.1 Membranas betuminosas

Para minimizar o problema das sub-pressões,

pode-se colar parcialmente a membrana ao suporte. Na generalidade dos casos, a membrana betuminosa assenta sobre o revestimento de betão, novo ou antigo. Como referido, devido a sub-pressões, pode ocorrer o aparecimento de fissuras longitudinais entre metade e dois terços da altura da secção do canal. Uma das técnicas adquiridas com base na experiência é a colagem da membrana apenas na parte superior da secção transversal do canal. Este processo permite garantir que, quando a pressão da água no tardo do canal é superior à pressão da água no próprio canal, a membrana adquire um grau de liberdade que lhe permite “levantar”, permitindo que do tardo se infiltre no canal circulando sob a membrana. O inconveniente é a necessidade de libertar a água que circula entre o suporte e a membrana em algum local.

Uma das formas de o fazer consiste em escoar esta água pela drenagem de fundo do canal, caso exista. Uma forma mais expedita é a execução de válvulas ou fusíveis: aplicação da membrana betuminosa em troços de 80 a 100 m de forma contínua, sem qualquer tipo de ligação ou amarração ao suporte; no final de cada troço, execução de uma ancoragem da membrana no betão do suporte (revestimento antigo) segundo a Fig. 16.

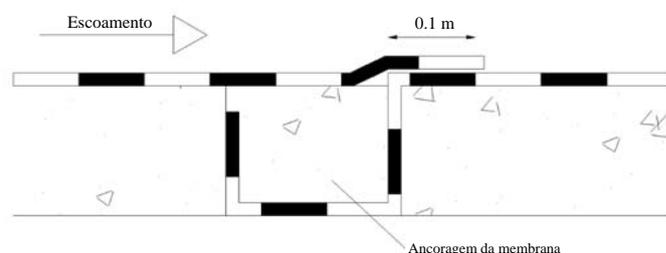


Fig. 16 - Ancoragem transversal

Esta técnica tem vindo a ser utilizada por várias associações de regantes em Portugal com resultados favoráveis e algumas vantagens: no caso de rotura ou descolamento da membrana, o troço de canal afectado é limitado à distância entre fusíveis; a água que escoia sob a membrana de um troço a montante passa a escoar sobre a membrana no troço de jusante.

As deficiências de aderência da membrana ao suporte são minimizadas com uma adequada limpeza da sua superfície e com a aplicação prévia de um primário betuminoso.

Para minimizar o descolamento das juntas de sobreposição, a sua largura deve ser a apropriada, as superfícies de aderência devem ser limpas e o

seu aquecimento deve ser o adequado.

#### 4.4.2 Membranas sintéticas

Nas anomalias relacionadas com a retracção, podem adoptar-se dois processos de reabilitação: a substituição total da membrana retraída por uma nova; o corte da membrana retraída no sentido perpendicular à retracção (normalmente o corte é longitudinal) e soldadura de uma faixa de membrana nova. A eficácia deste último processo é discutível, devido à dificuldade de garantir uma aderência perfeita entre a membrana nova e a antiga, sobretudo se esta já tem uma idade relativamente longa.

No descolamento das juntas de sobreposição das membranas, aplica-se o referido para as membranas betuminosas, podendo neste caso o processo de ligação ser realizado com base em produtos de colagem, distribuídos uniformemente sobre as superfícies a ligar.

As anomalias numa válvula “clapê”, relativamente usuais nestas membranas sintéticas, devem ser reparadas através da execução de uma nova válvula com as devidas dimensões, tornando inoperacional a existente através, por exemplo, da soldadura de todos os seus lados.

O rasgamento das membranas, devido por exemplo à retracção, pode ser reparado aderindo uma banda do mesmo material de revestimento na zona danificada após uma limpeza dessa mesma zona. Pode ser adoptado um processo semelhante quando se trata de uma perfuração da membrana.

Antes de se proceder à reparação das anomalias relacionadas com fixações mecânicas, deve investigar-se previamente as suas causas. Se ocorreu o arrancamento da fixação por deficiente qualidade do suporte, pode proceder-se à sua reparação reforçando essa amarração através, por exemplo, da utilização de resinas epóxicas. Se ocorreu a rotura da membrana por essas peças de fixação devida à retracção excessiva da membrana, deve-se primeiramente reparar a membrana e só depois aplicar eventualmente novas fixações se as originais tiverem sido afectadas.

## 5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA ESTUDOS FUTUROS

Nas últimas duas décadas, têm sido executadas em Portugal várias obras de construção e/ou reabilitação de canais de rega com técnicas e

materiais que até então nunca tinham sido utilizados.

Em Portugal, não existe regulamentação técnica aplicável aos processos construtivos ligados aos sistemas de impermeabilização de canais de rega, aplicados em canais novos ou na reabilitação de existentes. A caracterização desses sistemas é feita, à semelhança do que se passa noutros países da comunidade europeia, através das especificações contidas na norma europeia NP EN 13362.

Assim, neste trabalho começou-se por caracterizar e compilar os principais materiais e técnicas construtivas mais utilizados nos canais de rega, através da consulta de bibliografia sobre o tema (em geral muito escassa) e, sobretudo, de visitas aos principais canais existentes em Portugal.

Nessas visitas, foi também possível observar as principais anomalias associadas a cada tipo de sistemas de impermeabilização e analisar as suas possíveis causas. Da análise da patologia observada, concluiu-se ser necessário realizar estudos mais aprofundados sobre o desempenho de determinadas soluções construtivas, recorrendo necessariamente à experimentação laboratorial.

Assim, sugere-se de seguida alguns temas para o desenvolvimento de trabalhos futuros que muito contribuiriam para melhorar a qualidade deste tipo de obras, e, assim, permitir reduzir as perdas de água que ao longo do seu percurso se vai verificando:

- levantamento sistemático das soluções construtivas existentes;
- elaboração de fichas de inspecção, para analisar o estado de conservação dos revestimentos de canais de rega actuais e as técnicas de reparação / substituição mais adequadas;
- definição das principais propriedades dos materiais a considerar quando usados no revestimento de canais de rega;
- definição de métodos de ensaios de estanqueidade à água, *in situ* e em laboratório, ou adaptação dos existentes noutros tipos de obra (por exemplo em coberturas de edifícios);
- estabelecimento de exigências relativas às perdas admissíveis de água para cada material de revestimento;
- realização de estudos de carácter experimental dos sistemas de fixação das membranas a aplicar no revestimento de canais de rega;
- elaboração de estudos que permitam concluir com maior fiabilidade sobre as causas mais

prováveis das anomalias verificadas nas soluções existentes;

- estudo de novos materiais passíveis de serem aplicados no revestimento de canais de rega.

## REFERÊNCIAS

- [1] Ministérios da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente - Levantamento das necessidades de reabilitação dos regadios existentes e/ou beneficiação de regadios tradicionais. Grupo de trabalho Agro-Ambiental. Lisboa: Maio, 2003.
- [2] MACHADO DO VALE, J. L. - Impermeabilização de obras hidráulicas com geomembranas sintéticas em Portugal. 1º Seminário Português sobre Geossintéticos, Porto. 2005, pp. 201-215
- [3] Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, DR n.º 124, I-B Série, de 2005.06.30. Presidência do Conselho de Ministros - Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água - Bases e Linhas Orientadoras (PNUEA), 2005.
- [4] MONTAÑÉS, José L. - Hydraulic canals. New York: Taylor & Francis, 2006.
- [5] [www.ferrovial.com](http://www.ferrovial.com)
- [6] [www.gomaco.com](http://www.gomaco.com)
- [7] GUSMÃO, J - Canais. Problemática. Reparação e obra nova. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Novembro de 1996.
- [8] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE - Barreiras geossintéticas. Características requeridas para a utilização na construção de canais. Caparica: IPQ, 2007. NP EN 13362.

**ANEXO**



**Fig. 14 - Sequência de reparação de uma fissura no revestimento de betão**