

REVESTIMENTO DE CANAIS NOVOS E REABILITAÇÃO Processos construtivos, melhoria da eficiência

António M. SANTOS

Eng.º Agrónomo, DGADR, Av. Afonso Costa, 1949-002, Lisboa, +351.21.844.23.58, amsantos@dgadr.pt

1. INTRODUÇÃO

A presente comunicação destina-se à apresentação do processo construtivo utilizado na construção dos novos canais em betão, tendo por base a experiência prática adquirida no 2º e 3º troço do canal condutor geral do Aproveitamento Hidroagrícola da Cova da Beira. Os aspectos abordados têm por base a construção de um canal novo mas aplicam-se também a canais a reabilitar tendo em vista aumentar a eficiência de transporte.

2. ENQUADRAMENTO

A DGADR, enquanto organismo da Administração Central do Estado, tem desenvolvido um papel importante na reabilitação e construção de novos Aproveitamentos Hidroagrícolas, através da aplicação da política de investimentos públicos do MAMAOT.

Nas duas últimas décadas foram construídas ou reabilitadas infra-estruturas com recurso aos programas PEDAP, PAMAF, INTERREG, AGRO, AGRIS e PRODER. Mereceu especial atenção, não só por via do montante do investimento, mas também pelos estudos e projectos desenvolvidos, a construção de novos canais e a reabilitação de canais antigos, tendo em vista o aumento da eficiência de transporte.

A nível nacional, existem 21 Aproveitamentos Hidroagrícolas cujo fornecimento de água é feito a partir de canais, numa extensão de 3300 km, dos quais 1050 são redes primárias (canais de média/grande dimensão).

A importância da eficiência no transporte de recursos hídricos reveste-se de particular importância, tendo sido identificada como objectivo no “Programa Nacional para o uso eficiente da água”.

3. EFICIÊNCIA DE TRANSPORTE EM CANAL

3.1 Definição e eficiência

Em termos de definição, considera-se que a *eficiência de transporte em canal é dada pela razão entre o volume entregue à rede secundária e o volume aduzido à cabeceira do canal.*

Ignorando as perdas por evaporação, sobre as quais não se pode intervir, os factores principais que podem optimizar a relação anterior, são a regulação hidráulica do canal e as perdas por infiltração, que por sua vez dependem directamente do tipo de revestimento e do estado de conservação e manutenção da obra.

3.1.1 Regulação hidráulica

As perdas que advêm das operações sobre os órgãos de controlo e segurança do canal, são tanto menores, quanto mais adaptado for o sistema de regulação aos pedidos de jusante, nomeadamente através da redução dos tempos de resposta do canal.

Deverão ser consideradas as vantagens e as limitações dos comandos por montante, jusante e comandos mistos.

A introdução de infraestruturas de compensação (reservatórios intercalares), agiliza os tempos de resposta e permite uma gestão mais regular dos sistemas.

O conhecimento dos tempos de resposta dos canais, detido pelas entidades gestoras reveste-se de particular importância na gestão e eficiência dos sistemas.

3.1.2 Perdas por infiltração através do revestimento

As perdas por infiltração através do revestimento são o principal aspecto a ter em conta, em termos de eficiência.

A eficiência de transporte em canal, relacionada com os aspectos construtivos, está intimamente dependente do tipo de impermeabilização que o revestimento permite.

O revestimento é uma capa de material duradouro, impermeável, colocada sobre um suporte. O suporte pode ser uma superfície escavada, ou uma superfície já revestida anteriormente, que se encontre degradada.

Sendo uma superfície delgada. O revestimento não tem funções estruturais, o que obriga a que o suporte seja estável.

A escolha do revestimento a adoptar depende de:

- Custo do revestimento propriamente dito;
- Custo da aplicação (mão de obra e equipamento);
- Grau de impermeabilização desejado;
- Natureza dos esforços e dos agentes a que o revestimento vai ser sujeito (velocidade do escoamento, impulsos do terreno, acções da temperatura, vegetação, qualidade da água, etc);
- Custos de manutenção.

Tendo em atenção que o revestimento se destina a impedir ou a reduzir as perdas por infiltração, devem ainda ser considerados os seguintes factores que potenciam as perdas:

- Alturas de água elevadas originam pressões elevadas;
- Águas limpas em contraposição com águas sujas (os materiais finos tendem a colmatar as fendas);
- A frequência de ciclos de enchimento e esvaziamento de canais que induzem a saturação ou a retracção do suporte e, como tal, o aparecimento de fendilhamento;
- A idade do revestimento;
- As condições climáticas extremas (temperaturas extremas, congelação de água nos suportes e nos revestimentos);
- Vegetação arbustiva ou arbórea, cujas raízes contactem com o revestimento e criem caminhos de infiltração;
- Instabilidade do suporte, particularmente quando em aterro e sujeito a percolação do canal.



Figura 1 – Vegetação em contacto com o revestimento

Se a acrescentar às perdas induzidas pelos fenómenos referidos, adicionarmos as perdas nas regadeiras, atingim-se percentagens elevadas, que são tanto mais significativas, se os sistemas hidráulicos incluírem custos de elevação.

Para que um determinado caudal chegue à secção pretendida o volume a aduzir deverá ser o desejado, acrescido das perdas por infiltração, evaporação e desperdícios provocados por más manobras do sistema de regulação hidráulica.

A nível internacional aceita-se como bom funcionamento um canal que apresente perdas por infiltração compreendidas entre 25-50 l/m²/dia.

Exemplo prático:

Considerando um canal com a secção indicada com 20000 m de extensão e capacidade 9m³/s, deveremos considerar as seguintes perdas por infiltração:



Quadro 1 - Exemplo prático do canal de Odivelas:

Troço 1		Troço 2	
Extensão – 449 m	25 l/m ² /dia – 146,6 m ³ /dia – 0,01 %	Extensão – 8135 m	25 l/m ² /dia – 2511,7 m ³ /dia – 0,19 %
Q – 17,82 m ³ /s		Q – 15,12 m ³ /s	
h - 3,7 m	50 l/m ² /dia – 293,2 m ³ /dia – 0,02 %	h - 3,5 m	50 l/m ² /dia – 5023,4 m ³ /dia – 0,38 %
Rasto – 2,6 m		Rasto – 2,5 m	
Inclin. Espaldas – 1/1		Inclin. Espaldas – 1/1	
Perímetro molhado – 13,1 m		Perímetro molhado – 12,4 m	



Figura 2 – Teste de estanqueidade do betão

4. CONSTRUÇÃO DE CANAIS NOVOS EM BETÃO

4.1 Geral

Um canal, tal como uma via de comunicação, destina-se a permitir um transporte entre dois pontos definidos, devendo ser projectado e dimensionado tendo em vista a optimização dos custos de construção e de manutenção futura, num patamar de qualidade geral pré-definido.

O traçado deve ser escolhido tendo em atenção os seguintes aspectos principais:

- Finalidade e funcionamento hidráulico do canal;
- Topografia;
- Geologia e geotecnia do suporte;
- Construções e infra-estruturas já existentes;
- Custos com indemnizações e expropriações;
- Reposição de acessibilidades, realojamentos, etc.

Em função dos aspectos anteriores e tendo em vista a sua optimização, deve ser adoptada uma secção corrente com geometria definida e previstas secções especiais com geometrias adaptadas às singularidades.

Pode-se dizer que, quanto maior for o tipo e a extensão de secções especiais, maiores serão os custos associados ao projecto, construção e manutenção futura da obra.

Por questões hidráulicas, de construção e de *tradição*, a secção corrente mais adoptada é a secção trapezoidal com inclinação das espaldas que pode variar entre (hor/vert) 1/1 e 1,5/1.

Os projectos de execução tendem a definir a inclinação das espaldas de acordo com os processos construtivos mais usuais.

Na década de 50, o recurso a elementos prefabricados (lagetas *rosacometta*) permitiu a construção de espaldas mais inclinadas (1/1) e como tal menores movimentações de terra com recurso a trabalho braçal.



Figura 3 – Canais revestidos com lagetas *rosacometta*

Este tipo de tecnologia, aplicada essencialmente durante a IIª Grande Guerra e nos anos seguintes, permitiu que fossem feitas lagetas pobres em cimento, mas com a boa qualidade permitida pelo pré-fabrico. O número de juntas que acarretava conduzia a grandes perdas por infiltração, com consequências gravosas para o suporte, nomeadamente nas zonas de aterro.

Com a introdução de novos equipamentos para betonagem in-situ, com ou sem cofragem, a inclinação das espaldas passou a ser menor, permitindo betonagens de maior qualidade (maior compactação, menor porosidade, maior impermeabilização). Comparativamente, o menor custo da movimentação de terras, assim o permite.

4.2 Sequência do processo construtivo – aspectos práticos

4.2.1 Geral

Os aspectos a seguir indicados resultam da experiência prática da construção e dos 3 anos de exploração do canal condutor geral do Aproveitamento Hidroagrícola da Cova da Beira.

O canal em questão, apresenta secção corrente de geometria trapezoidal, telescópica. Tem início na tomada de água da barragem da Meimoa e termina na barragem da Capinha, com uma extensão total de 55.4 km.

O caudal de dimensionamento varia entre 9.4 e 3 m³/s, destinando-se a abastecer as tomadas de água directas ou as estruturas de compensação, das redes secundárias de rega.

Ao longo do traçado existem troços com secções especiais cobertas, em túneis e em sifões invertidos.

Importa reter que o canal apresenta traçado à meia encosta, numa zona de montanha, povoada, em que a optimização da movimentação de terras nem sempre foi conseguida, devido às condicionantes impostas ao traçado.

Sendo o canal maioritariamente implantado em rocha, torna-se impossível efectuar qualquer tipo de regularização prévia para aplicação do revestimento directamente sobre o suporte escavado.

O processo usual para colmatar as irregularidades consiste no seu preenchimento com betão, prática utilizada pelo INAG no 1º troço de canal (km 0+000 a km 13+300).

Tal conduz à aplicação de uma sobre espessura de betão que não é paga pelo Dono da Obra, já que os critérios de medição definem a geometria teórica pela qual são contabilizados os trabalhos.

Considerando que o revestimento constitui o trabalho mais oneroso da empreitada, para minorar este efeito, a empresa construtora do 2º e 3º troços propôs uma metodologia específica que consiste na substituição dos solos do suporte original por saibros graníticos que permitem uma escavação fina e isenta de irregularidades.

Se a não aplicação da sobre espessura de betão interessa essencialmente ao empreiteiro, em termos de contenção de custos não ressarcidos pela empreitada, também interessa ao Dono da Obra, pois representa uma garantia importante para o bom comportamento futuro da obra, já que o fendilhamento do betão, é tanto mais irregular quanto maiores forem as variações de espessura do revestimento.

4.2.2 Terreno original

Assim que é feita a consignação e o empreiteiro toma posse da obra, os terrenos e respectivos acessos deverão estar disponíveis por via da expropriação.

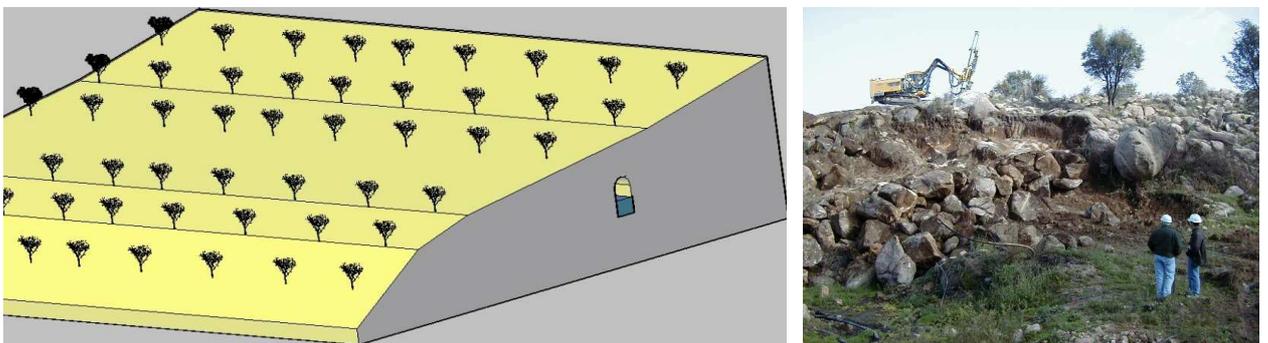


Figura 4 - Terreno original

4.2.3 Preparação da faixa de trabalho

A preparação da faixa de trabalho consiste na desmatagem do terreno, em que a massa vegetal removida deve ser encaminhada para os respectivos fins: madeira, lenha, compostagem ou

transporte a vazadouro. Seguidamente o terreno é decapado, sendo a terra vegetal levada a vazadouro para utilização futura em revestimento de taludes, arranjos exteriores, etc.

4.2.4 Construção de passagens hidráulicas

Para que possa ser efectuada a movimentação de terras e a circulação dentro da faixa de trabalho, deve ser assegurado o escoamento das linhas de água através da construção das passagens hidráulicas previstas no projecto ou de outras que se revelem necessárias.

Representando as passagens hidráulicas um custo significativo da obra, existe tendência por parte dos projectistas em reduzir o seu número, por via da concentração de diversas linhas de água num só aqueduto. Para que a concentração seja efectuada recorre-se a valas de cintura e a valas de pé de talude na plataforma do canal.

Em termos de experiência prática, desaconselha-se este procedimento pelos seguintes aspectos:

- O afastamento das valas de cintura em relação à faixa de trabalho leva a que estas se encontrem deficientemente projectadas, devido à inexistência de levantamentos topográficos adequados;
- Regra geral, desenvolvem-se em rocha, sendo de difícil abertura, regularização e manutenção futura;
- São de difícil expropriação devido ao traçado e ao fraccionamento dos terrenos que acarretam;
- Obrigam à construção de aquedutos na intercepção com os caminhos existentes e à expropriação de terrenos fora da faixa de trabalho;
- A concentração de linhas de água em valas de pé de talude, conduz a um aumento significativo do volume de escavação. As valas são implantadas em plataformas que não têm largura suficiente para deslocação de equipamento de limpeza e manutenção futura, sendo facilmente aterradas e provocando a entrada de inertes para dentro do canal. Este fenómeno é mais significativo nos primeiros anos da obra já que os terrenos se encontram desprovidos de vegetação e sujeitos a fenómenos erosivos importantes;
- Os aquedutos resultantes, passam a transportar volumes muito significativos cujas valas a jusante não se encontram preparadas para receber, provocando assoreamento de terrenos e as respectivas consequências indemnizatórias;



Figura 5 - Construção de passagens hidráulicas

4.2.5 Construção da caixa do canal

A abertura da caixa do canal, em escavação, deverá identificar todos as zonas de drenagem deficiente, nascentes, minas, poços, etc.

As zonas em questão provocam geralmente fenómenos de sub-pressão do revestimento, provocando fissuração, arrastamento de inertes e conseqüente perda de água por infiltração.

A sub-pressão ocorre quando o nível hidroestático no interior do canal é inferior ao nível de água no solo o que ocorre por vezes em situações de canal vazio. Nesta situação o nível freático do solo intercepta a secção do canal havendo registo de diversas situações de fluvariabilidade das secções.

Essas zonas deverão receber tratamento adequado, através da construção de máscaras drenantes de forma a interceptar a curva de saturação do solo devendo os drenos encaminhar água para fora da faixa de trabalho. O tratamento das zonas a drenar deve ser efectuado, o mais afastado possível do revestimento. Alguns projectistas optam por incluir geodrenos sob o fundo do canal, para precaver estes fenómenos.

A identificação destes fenómenos é facilitada quando a movimentação de terras ocorre no Inverno e em anos chuvosos.



Figura 6 – Canal sujeito a sub-pressões resultantes de má drenagem

Na obra que é tida como referência neste comunicação, a maior parte das nascentes identificadas abasteciam habitações ou explorações agrícolas cujo fornecimento teve que ser assegurado pelo Dono da Obra.

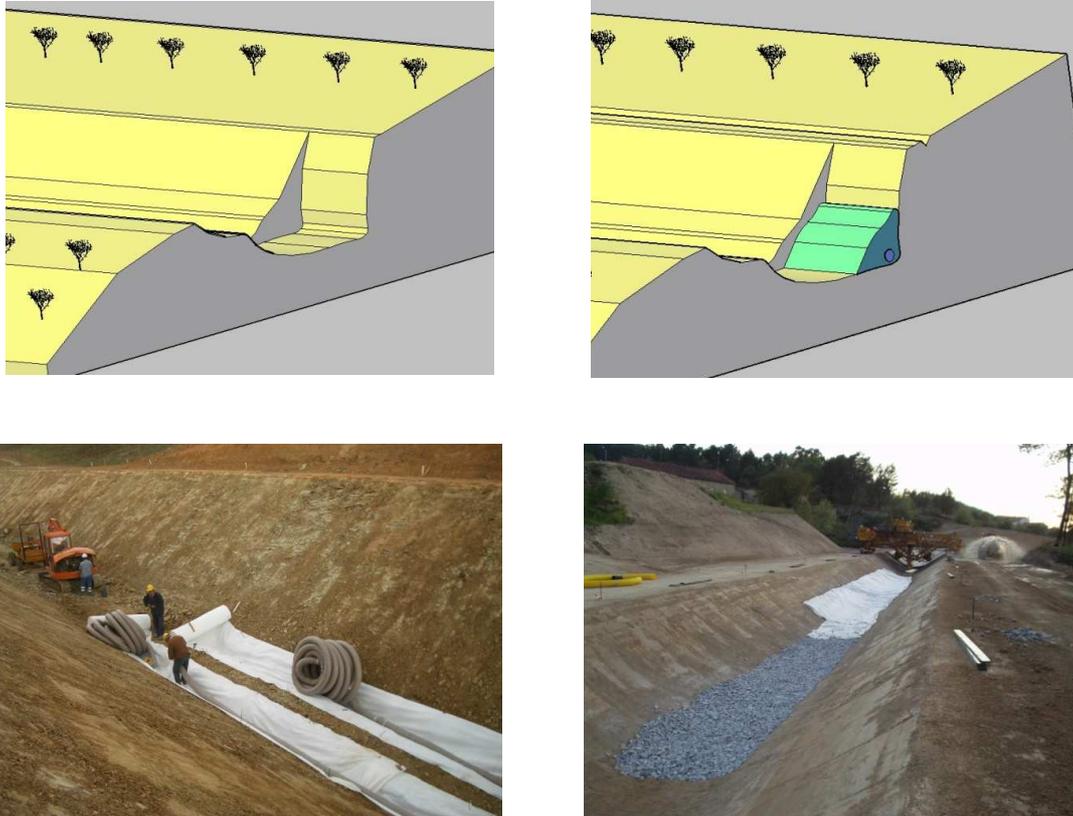


Figura 7 - Saneamento e tratamento da zona a drenar através da construção de uma máscara drenante

4.2.6 Aterro da caixa do canal com material de granulometria fina

A abundância de manchas de empréstimo de saibros graníticos ao longo do traçado da obra, permitiu que o empreiteiro substituisse o maciço de fundação por saibros graníticos. Este material de substituição permite escavações muito regulares e que se atinjam graus de compactação muito elevados.

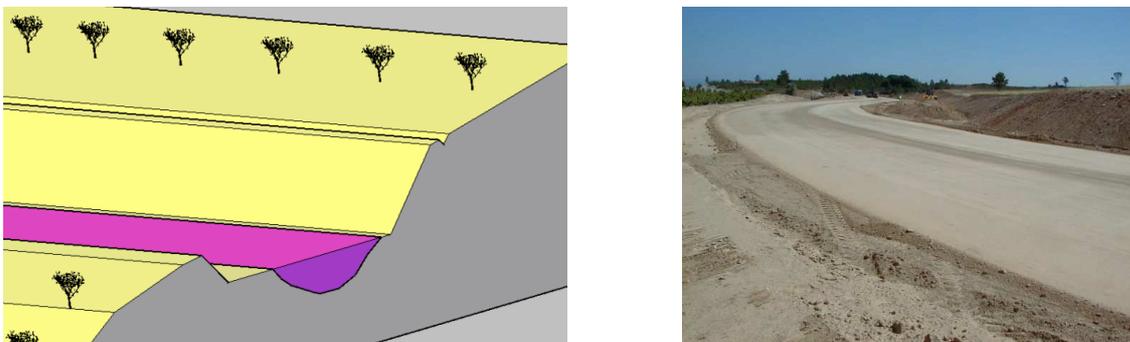


Figura 8 - Aterro da caixa do canal com saibros graníticos

4.2.7 Escavação fina da caixa do canal

A escavação fina da caixa do canal permite controlar de maneira muito efectiva a espessura do revestimento a aplicar.

Uma espessura de revestimento regular, assegura um melhor comportamento do betão do que se estivesse sujeito a diferentes tipos de esforços induzidos pelas irregularidades do suporte.

A regularidade e perfeição da escavação consegue-se com operadores experientes e, mais recentemente, com lanças accionadas de forma programada e automática.

A regularidade da escavação do suporte é fundamental para que possam ser utilizadas pavimentadoras de betonagem contínua, como é o caso em apreciação.

Esta fase deve incluir a construção das sapatas dos pontões para que o equipamento de pavimentação possa avançar sem interrupções.

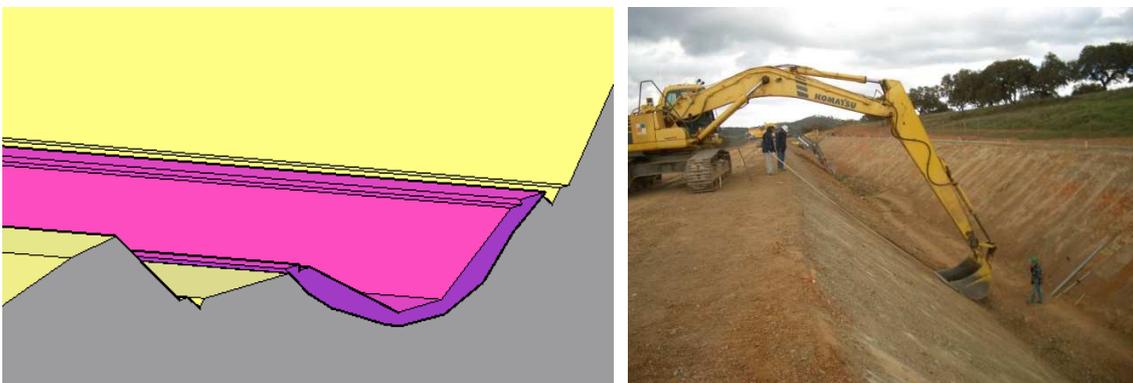


Figura 9 – Escavação fina da caixa do canal

4.2.8 Aplicação do revestimento de impermeabilização do canal, em betão

A totalidade dos canais mais recentes construídos pela DGADR, pela EDIA e também pelo INAG, apresentam revestimento em betão.

Este tipo de revestimento é o mais utilizado em todo o mundo apresentando, teoricamente, permeabilidade muito reduzida.

O revestimento mais utilizado é em betão simples, aplicado *in-situ*, com espessuras que variam entre os 8 e 12 cm.

O processo de aplicação do revestimento deverá assegurar a espessura mínima de projecto e garantir a inexistência de porosidades no betão.

A porosidade é tanto menor quanto maior é a vibração das massas, aspecto para o qual a existência de cofragens é determinante.

A trabalhabilidade do betão é fundamental para se conseguir uma boa compactação e acabamento.

Dado o conjunto de factores que pode afectar o resultado final pretendido para o revestimento, deve ser realizado previamente ao início da obra, de um Estudo de Composição do Betão.

O slump é escolhido de forma a permitir uma boa compactação, mas não pode ser demasiado fluido, pois origina o escorregamento das massas, pelas espaldas abaixo. São comuns slump de classe entre 3 e 5.

A relação comum entre água e cimento deve rondar 0,5.

A dosagem de cimento Portland varia, em geral, entre o 250 e 300 kg/m³ e em função da quantidade de cinzas utilizadas.

A adição de cinzas têm como principal função melhorar a trabalhabilidade e reduzir a retração e consequentemente a fendilhação.

A escolha da granulometria dos inertes é também importante para que não fiquem porosidades ou cavidades no revestimento.

Sendo o revestimento constituído por betão simples, aplicado numa capa delgada, a ocorrência de fenómenos de fendilhamento provoca perdas por infiltração significativas, podendo chegar a por em riscos a estabilidade dos aterros e causar sub-pressões nos ciclos de enchimento/esvaziamento dos canais.

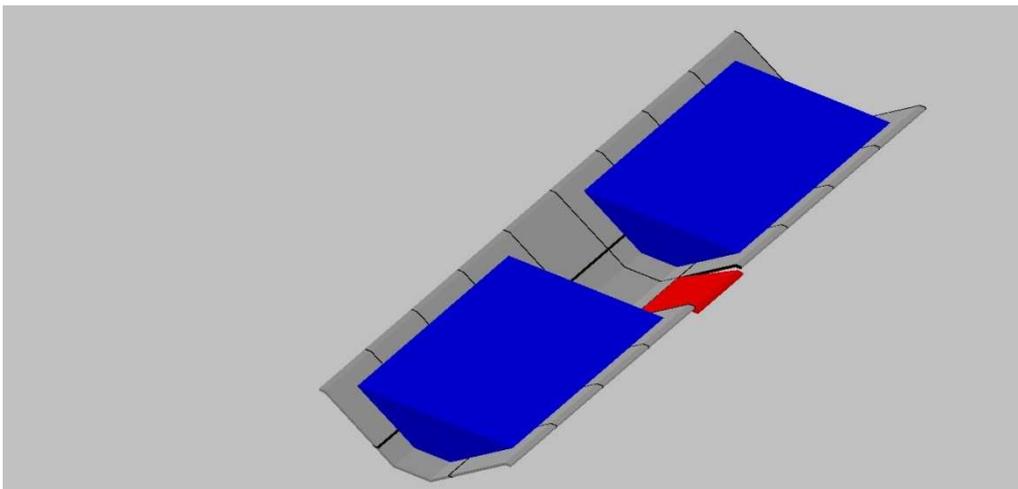


Figura 10 – Representação de um assentamento de uma espalda

Para atenuar o efeito do fendilhamento são utilizadas soluções diversas:

- Aplicação de armaduras – essencial em secções especiais, em que ocorram variações da secção e como tal do escoamento mas pouco utilizadas em revestimento de secções correntes, já que para garantir o recolhimento exigem-se espessuras incontroláveis;



Figura 11 – secção especial, limpa grelhas



Figura 12 – secção especial, descar. hidráulico

- Aplicação de *malhasol* – destina-se a proceder ao controlo da fissuração. Estando posicionada a meio da espessura não funciona à flexão pelo que, por vezes, é utilizada erradamente como armadura. Ao não ser aplicada cuidadosamente fica frequentemente com recobrimento reduzido ou em contacto com o suporte, pelo que oxida ao fim de poucos anos;

- Aplicação de fibras sintéticas de derivados do petróleo – estando muito em voga, as fibras depolipropileno são as mais utilizadas. Destinam-se a prevenir pequenos fenómenos de retracção;
- Aplicação de fibras metálicas – são as que apresentam melhor comportamento na dissipação de cargas e na prevenção do fim a que destinam. Teoricamente, a resistência conferida será tanto maior quanto a dosagem por unidade de volume. A aplicação em excesso provoca dificuldades na regularização da superfície do revestimento e aumento da rugosidade;
- Aditivção das massas ou aplicação de sprays de retardamento da cura do betão, para temperaturas muito elevadas, ou de aditivos para aceleração da cura, para temperaturas muito reduzidas.

A aplicação do revestimento em canais de betão tem variado com as tecnologias disponíveis em cada época.

- Até há 20 anos as betonagens eram efectuadas em troços alternados. Os troços ímpares eram betonados contra uma mestra ou gabarit e os troços pares contra os troços anteriores após estes tomarem presa.

A compactação das massas era efectuada com régua vibratórias sendo o grau de compactação conseguido relativamente reduzido.

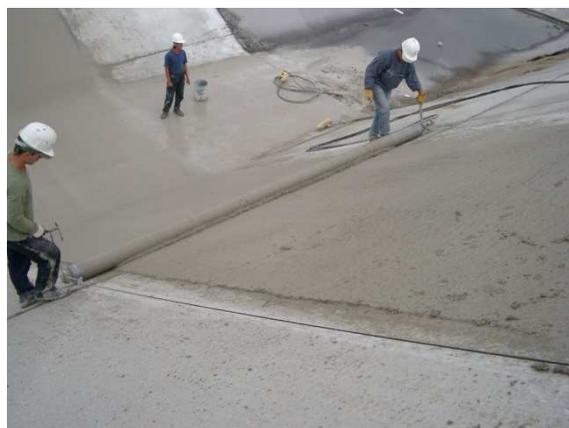


Figura 13 – Betonagem alternada de espadas com recurso a vários processos de vibração



Figura 14 - Máquina vibratória

- A realização da betonagens, com utilização sistemática de cofragens, em troços extensos de canal, nunca apresentou grandes resultados devido à dificuldade de fixação e escoramento face às geometrias das secções praticadas e aos fortes impulsos do betão, junto ao rasto.
- Mais recentemente têm sido introduzidos equipamentos de pavimentação contínua de dois tipos: cofragem deslizante e pavimentadoras de rolos.
As primeiras, com ou sem sistemas de vibração acoplados, permitem graus de compactação muito elevados mas, por terem de vencer o impulso do betão dão origem a equipamentos muito pesados e de difícil utilização. São utilizadas em secções reduzidas e são muito limitadas em desenvolvimentos curvos onde provocam grandes variações de espessura.
- Nas obras em consideração e nos canais do EFMA, têm sido utilizadas essencialmente pavimentadoras de rolos.



Figura 15 - Pavimentadora utilizada no 1º e 2º troços do CCG da Cova da Beira

As pavimentadoras em questão permitem espessuras regulares, graus de compactação aceitáveis e bons rendimentos em troços de secção corrente.

A existência de troços com secções especiais, intercalados em troços de secção corrente, obriga à mudança da máquina, o que devido ao seu peso, dimensões e dificuldade de locomoção, só é conseguido com recurso a guias e transportes especiais. A ocorrência destas situações conduz a quebras de rendimento significativas.

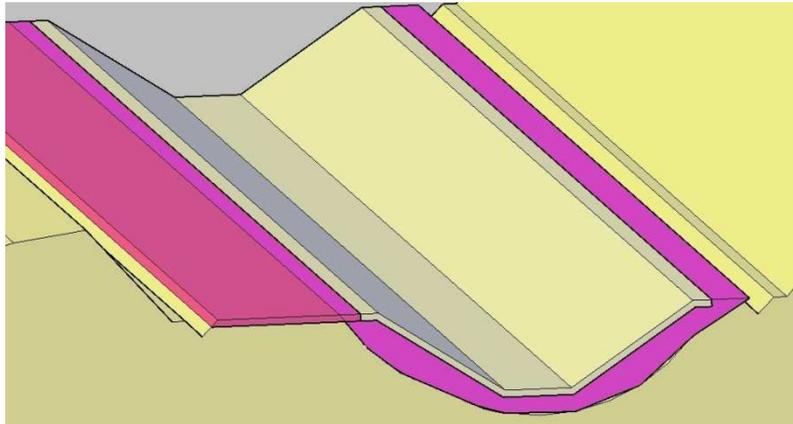


Figura 16 – Aplicação do revestimento de impermeabilização

Por se tratar de obras com grande desenvolvimento longitudinal, a aplicação do revestimento, é acompanhada pela construção de juntas:

- Juntas de trabalho – sempre que se interrompe o processo de pavimentação (no final do dia de trabalho, na ligação a obras especiais, etc). Consistem num corte ao longo de toda a espessura do revestimento;
- Juntas de retracção longitudinais e transversais – com espaçamento definido em projecto e destinadas a induzir os fenómenos de fendilhamento provocados pela retracção do betão. O espaçamento das juntas é calculado em função do atrito ao suporte, da espessura do revestimento e da tensão de tracção do betão. O afastamento é tanto mais reduzido quanto menor é a espessura do revestimento. Betões de maior qualidade/menor resistência à tracção permitem afastamentos maiores entre juntas. Usam-se afastamentos entre 3 e 4 m devendo a junta interceptar 1/3 da espessura do revestimento. As juntas longitudinais devem ainda assegurar pequenos deslocamentos do suporte, induzidos por sub-pressões, deficientes compactações ou outros esforços mecânicos, nomeadamente na transição entre aterros e escavações;
- Juntas de dilatação – com espaçamento definido em projecto e destinadas a prever eventuais fenómenos de dilatação do betão provocados por temperaturas elevadas. São as juntas menos utilizadas face às condições de funcionamento dos canais;

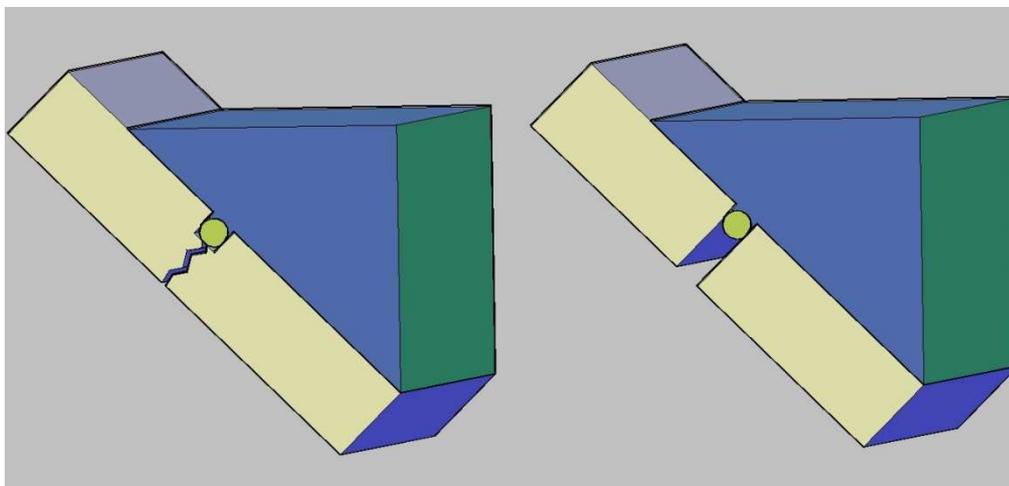


Figura 17 – Juntas de retracção (esq) e de trabalho (dir)

- A abertura/corte das juntas de retracção é efectuada num prazo nunca superior a 12 h após a aplicação do revestimento já que é neste período que se acentua a retracção das massas.
- Após a cura do betão as juntas são seladas para impedir perdas de água. A selagem deve ocorrer com as superfícies limpas e secas.



Figura 18 - Abertura de juntas de retracção

Os materiais mais utilizados na colmatação das juntas são os betumes asfálticos e as resinas epoxi.

4.2.9 Pavimentação da serventia técnica e acabamentos

Após a aplicação do revestimento deverão ser feitos os *acabamentos* (hidrossementeira dos taludes, conclusão das obras especiais, instalação de equipamento, etc).

A pavimentação da serventia técnica deverá ser efectuada no final para preservar o revestimento betuminoso.

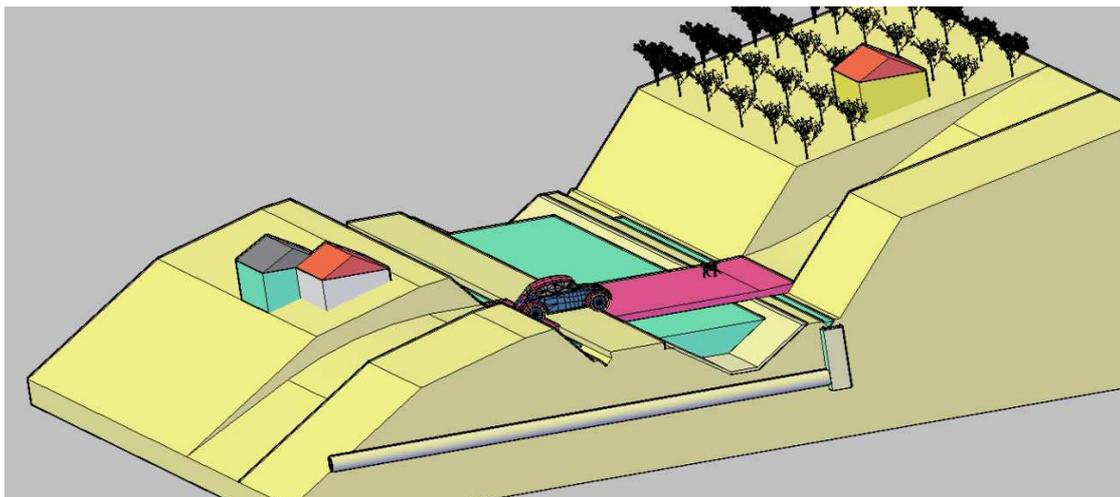


Figura 19 – Representação de um canal pronto com secção em escavação



Figura 20 – Canal pronto

4.3 Custo dos principais trabalhos de construção de um canal (preços indicativos)

Designação do trabalho	un	euro
Movimentação de terras		
Escavação em terra	m ³	1
Escavação em rocha branda (ripável)	m ³	2
Escavação em rocha dura (explosivos)	m ³	5
Aterro	m ³	3
Revestimento em betão		
Betão C20/C25 (EC2) com incorporação de fibras de polipropileno (0,6 kg/m ³)	m ³	90
Aço em fibras (15 kg/m ³)	kg	2
Execução e selagem de juntas de retracção, de trabalho e de dilatação	m	7

5. CONCLUSÕES

Os resultados históricos da utilização de betão em impermeabilização de canais, aconselha a sua utilização futura em novos canais.

O grau de impermeabilização, a resistência e a durabilidade, a manutenção e reparação e o custo conferem aos revestimentos com betão uma boa opção, face a outros tipos de revestimento.

Para que o revestimento com betão possa ser utilizado com sucesso, devem ser identificados e tratados todos os fenómenos e agentes que condicionam as suas vantagens.

Existe em Portugal *know-how* detido pelos Donos de Obra públicos, empresas de projectos de engenharia e empresas de construção que permitem a utilização do revestimento com betão, com bons resultados.

DGADR, 1 de Agosto de 2011