

CONCEPÇÃO DOS GRANDES CANAIS DO EMPREENDIMENTO DE FINS MÚLTIPLOS DE ALQUEVA

Pedro MARQUES ⁽¹⁾; Sérgio COSTA ⁽¹⁾; Bruno FONSECA ⁽¹⁾;
Alexandra CARVALHO ⁽²⁾

(1) AQUALOGUS – Engenharia e Ambiente, Lda. geral@aqualogus.pt

(2) EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, SA. acarvalho@edia.pt

A AQUALOGUS foi responsável pela concepção e projecto de cerca de 120 km de rede primária de adução do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), dos quais se destacam mais de 60 km de canais de grande dimensão.

No presente artigo pretende efectuar-se uma caracterização dos principais canais de adução que constituem a rede primária do EFMA, projectados pela AQUALOGUS, sendo abordados alguns aspectos inovadores relacionados com a concepção em termos hidráulicos, ambientais, estruturais e de automação e regulação destas infra-estruturas. Assim, apresentam-se os canais Álamos-Loureiro, Alvito-Pisão e Pisão-Roxo, pertencentes ao subsistema de Alqueva, e o canal que constitui o adutor do Pedrógão - Margem Esquerda, do subsistema de Ardila.

Apresentam-se os critérios de concepção hidráulica e de controlo dos canais, as soluções mais relevantes que permitem a mitigação dos impactes ambientais decorrentes, as soluções estruturais adoptadas, designadamente quanto ao revestimento do canal com betão reforçado com fibras de aço, os sistemas de automação dos canais, bem como as principais características das soluções adoptadas.

São ainda abordadas as questões relacionadas com as propostas de medidas de reforço especificamente do canal Pisão-Roxo junto a uma pedreira em exploração existente nas proximidades de Ferreira do Alentejo. As medidas de protecção foram estudadas com base na análise das medições das velocidades de vibração no troço de canal junto à pedreira decorrentes dos rebentamentos efectuados na pedreira.

Por fim, apresentam-se algumas considerações sobre a adequabilidade das soluções adoptadas, tendo em conta que todas as obras já foram concluídas e ter havido já um curto período de exploração da obra.

Palavras-chave: canal de adução; EFMA; aproveitamento hidroagrícola; betão reforçado com fibras de aço; regulação hidráulica.

1 CARACTERIZAÇÃO GERAL

O Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) permitirá beneficiar uma área com cerca de 118 mil hectares. O EFMA é constituído por três sub-sistemas, de acordo com as diferentes origens de água:

- o subsistema de Alqueva, com origem de água na albufeira de Alqueva, beneficiará uma área de cerca de 63 500 ha, entre Évora e Beja e a Oeste de Beja;
- o subsistema de Pedrógão, com origem de água na albufeira de Pedrógão beneficiará uma área total de cerca de 24 500 ha, localizada a Este de Beja até ao rio Guadiana;
- o subsistema do Ardila, com origem de água, igualmente, na albufeira de Pedrógão beneficiará uma área total de cerca de 30 000 ha, constituída pelas áreas da margem esquerda do Guadiana nos concelhos de Moura e Serpa.

Em termos de infra-estruturas de adução e rega, o EFMA será constituído por 15 barragens, 255 km de adutores dos quais 72 km em canal, 10 estações elevatórias principais, 6 centrais hidroeléctricas, 32 reservatórios de regularização; 32 estações elevatórias secundárias, 1100 km de condutas, cerca de 3120 hidrantes e cerca de 700 km de rede viária e redes de drenagem.

A AQUALOGUS foi responsável pela concepção e projecto de cerca de 120 km de rede primária do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) dos quais se destacam cerca de 60 km de canais de adução de grande dimensão, localizados nos subsistemas de Alqueva e Ardila. Seguidamente apresenta-se uma breve caracterização dos principais canais, designadamente os canais Álamos-Loureiro e Alvito-Pisão-Roxo e o adutor do Pedrógão – Margem Esquerda, cujos traçados se representam na Figura 1.

O sub-sistema de Alqueva desenvolve-se a partir da Estação Elevatória dos Álamos, localizada na albufeira de Alqueva, elevando os caudais para as barragens dos Álamos, ligadas à barragem do Loureiro através de um adutor com cerca de 11 km de extensão, na maioria do traçado constituído por um canal trapezoidal. O canal Álamos-Loureiro tem as seguintes características:

Caudal de dimensionamento 37 m³/s
Perfil-tipo..... trapezoidal com taludes a 1V/1,3H
Largura da soleira / altura 3,00 m / 4,50 m
Sifões..... 5 num total de cerca de 2 km
Número de condutas por sifão..... 3 x DN2800

Na barragem do Loureiro tem origem um túnel que permite a adução de água à barragem de Alvito, onde tem início um adutor que liga esta à barragem do Roxo (passando junto à barragem do Pisão), numa extensão total de cerca de 60 km – 36 km entre Alvito e Pisão e 24 km entre Pisão e Roxo -, a maior parte em canal trapezoidal O canal Alvito-Pisão-Roxo tem as seguintes características:

Caudal de dimensionamento 40,6 (início do sistema) a 5,9 m³/s (adução ao Roxo)
Perfil-tipo trapezoidal com taludes a 1V/1,3H
Largura da soleira / altura 3,00 a 2,00 m / 4,30 a 1,90 m
Sifões..... 7 num total de 15 km
Número de condutas por sifão..... 3xDN2500 (Alvito -Pisão) e 2xDN2500 (Pisão-Roxo)

No canal Alvito-Pisão têm origem dois adutores (circuito hidráulico de Odivelas e adutor Cuba-Vidigueira, também representados na Figura 1), parcialmente em canal trapezoidal, mas com menores dimensões, pelo que se dispensa a sua apresentação nesta comunicação.

2 CONCEPÇÃO DE CANAIS TRAPEZOIDAIS

2.1 Concepção geral dos canais

A implantação de cada canal trapezoidal foi efectuada tendo por base preocupações de minimização dos seguintes principais factores:

- custos de execução e impacte ambiental dos troços de canal implantados a meia-encosta, por diminuição das zonas em escavação e em aterro;
- dimensão das grandes obras de betão armado, como sifões, e zonas de canal coberto, evitando locais de topografia acidentada;
- volumes de escavação ou de aterro nos troços de transposição de elevações do terreno ou linhas de água;
- desequilíbrio global entre os volumes de escavação e de aterro, reduzindo a dimensão dos locais de depósito ou de manchas de empréstimo.

Assim, em termos de traçado do canal, foram tidos em conta os seguintes critérios, os quais permitem otimizar a implantação das obras e que, em parte, resultam das principais preocupações atrás identificadas:

- seguir, na medida do possível, o traçado das curvas de nível, de modo a minimizar em cada secção o balanço entre escavação e aterro;
- diminuir o comprimento do canal e, conseqüentemente, aumentar a sua inclinação, reduzindo a dimensão da secção transversal;
- otimizar a dimensão e, sobretudo, o número de estruturas de controlo e regulação (comportas);
- minimizar a dimensão e o número de outras obras singulares (transições, descargas de fundo, sifões);
- proporcionar (com base no estudo do traçado) condições geológicas e geotécnicas equilibradas, tendo em conta o balanço entre características geotécnicas dos terrenos e dimensão das obras de fundação;
- integrar critérios funcionais, de segurança e económicos, bem como a programação de execução da própria obra (ex. localização e dimensão do estaleiro) na análise do traçado da obra.

Tendo, também, em conta o conhecimento das características do equipamento usualmente utilizado na execução de canais trapezoidais, bem como as condições impostas pelo referido equipamento, estabeleceram-se os seguintes critérios para definição do traçado:

- raio mínimo de curvatura em planta de 50 m, admitindo-se em casos excepcionais o raio de 30 m;
- definir troços em canal coberto (cut-and-cover) quando a altura de escavação máxima, acima do bordo do canal, fosse superior a cerca de 10 m;
- definir obras em aterro para a transposição pelo canal de linhas de água, com altura não superior a 10 m, medida entre o talvegue da ribeira e o bordo do canal;
- nas zonas de vale aberto (zonas planas) implantar o canal coberto ou em sifão invertido, de modo a atenuar o efeito de obstrução à passagem de pessoas, animais e máquinas agrícolas e atenuar o impacte visual da obra.

2.2 Secção trapezoidal a céu aberto

2.2.1 Considerações prévias

A definição das principais características do perfil-tipo do canal precedeu as restantes actividades, uma vez que condiciona a definição do próprio traçado da obra e influencia os volumes de escavação e aterro necessários e, conseqüentemente, o custo das obras.

Por outro lado, é necessário ter em conta os processos construtivos que se prevê venham a ser adoptados. Tendo em conta o conhecimento que se tem sobre o equipamento que é usualmente utilizado em canais deste tipo, é possível estabelecer dimensões limite para o perfil do canal, nomeadamente no que se refere à largura mínima da soleira e à inclinação dos taludes. Assim sendo, nos projectos desenvolvidos estabeleceram-se as dimensões e características para o perfil-tipo do canal trapezoidal que se apresentam de seguida.

2.2.2 Largura da soleira

A determinação da largura da soleira é efectuada com base numa análise técnico-económica, tendo em conta o processo construtivo utilizado e a necessidade de manutenção periódica do canal, em que deverá ser permitida a circulação de máquinas para a sua limpeza.

Neste sentido, tendo em consideração a largura necessária para o trânsito de máquinas durante a construção e posteriormente para manutenção, estabeleceu-se uma dimensão mínima para a largura da soleira de 2,00 m.

2.2.3 Inclinação dos taludes

Atendendo às características dos equipamentos disponíveis para construção de canais deste tipo, seria possível no limite adoptar uma inclinação dos taludes de 45° (1V/1H). No entanto, face à altura das secções e às características dos materiais para aterro (que constituem efectivamente a estrutura resistente da secção do canal), considerou-se uma inclinação de 1V/1,3H.

2.2.4 Largura da banquetta exterior

Nos perfis a meia encosta (perfil misto com escavação e aterro), a banquetta exterior situa-se do lado contrário à encosta e destina-se à implantação do caminho de serviço.

A largura desta banquetta é condicionada pela utilização como faixa de rodagem do caminho de serviço, de manutenção e conservação, paralelo ao canal, assim como pela sua utilização durante a construção da obra.

A largura total da faixa de rodagem (largura da área pavimentada) para o trânsito de veículos de manutenção foi fixada em 3,50 m. A estes valores acresce a largura de 0,50 m correspondente ao extremo da laje de betão do canal e a berma de 0,50 m de largura do lado oposto ou a valeta triangular, consoante a banquetta se encontre em aterro ou em escavação.

2.2.5 Largura da banquetta interior

A banquetta interior é definida como a que se situa do lado da encosta nos perfis a meia encosta (perfil misto com escavação e aterro), ou a que se situa do lado contrário da banquetta com faixa de rodagem (perfis só em escavação ou só em aterro).

Nas zonas em escavação, a banquetta interior tem sobretudo a função de permitir a implantação de uma valeta de drenagem longitudinal dos taludes de escavação, protegendo o canal da queda de material das encostas. Pode ainda servir como pista para o trânsito pedonal afecto à manutenção e conservação do canal. Nas zonas em aterro terá apenas como função o trânsito pedonal.

Fixou-se em 2,00 m a largura total disponível nas zonas em que seja necessária a implantação de uma valeta e em 1,50 m a largura da banquetta nas zonas em aterro (sem valeta de drenagem).

2.2.6 Drenagem da fundação do canal

Nos troços em escavação ou a meia encosta, preconizou-se a colocação de uma geogrelha sob a base e sob os taludes até cerca de meia altura do canal (meia encosta) ou cerca de dois terços da altura do canal (escavação), a fim de garantir que não se desenvolvam subpressões sob a soleira e taludes (Figura 2).

As águas recolhidas são conduzidas a drenos longitudinais, colocados sob a laje de fundo do canal, constituídos por geodrenos colocados numa caixa de gravilha, envolta em geotêxtil. Estes drenos têm saída directa para o talude de aterro, quando as cotas altimétricas o permitem.

No entanto, em caso extremos, em trechos em que não é possível efectuar a descarga dos drenos, foram instaladas condutas sob a laje de fundo que colectam os caudais drenados e conduzem estes caudais, nalguns casos, até cerca de 2 km.

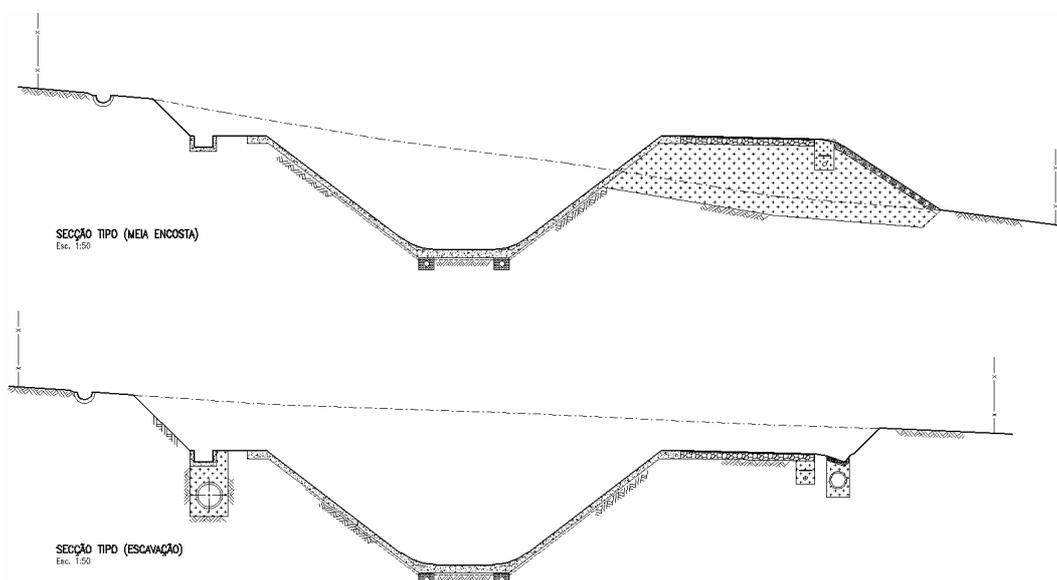


Figura 2 – Perfis transversais tipo dos canais. Secção em escavação e a meia encosta.

2.2.7 Folga

A folga de um canal é a distância vertical medida entre a superfície livre e o bordo, nas condições de dimensionamento, ou seja para o escoamento do caudal máximo derivável. O valor da folga a adoptar deve ser suficiente para que flutuações do nível no canal não conduzam ao seu transbordamento.

De modo geral, o valor da folga depende da velocidade, da altura do escoamento e da secção transversal do canal. Tendo em conta critérios habitualmente utilizados e que constam da bibliografia disponível, as folgas adoptadas nos vários casos são da ordem de 0,8 m.

2.2.8 Dimensionamento estrutural

O dimensionamento estrutural do canal inclui o dimensionamento das escavações e dos aterros que materializam a obra bem como das lajes de betão que assumem as funções de revestimento e impermeabilização.

Para dimensionamento estrutural das lajes de betão de revestimento dos canais, admitiram-se as acções do peso próprio, da pressão hidrostática, da variação diferencial de temperatura entre as faces superior e inferior ($\Delta T=15^{\circ}\text{C}$), dos veículos que eventualmente possam circular no interior do canal para acções de manutenção ou de reparação (veículo da Classe II definida no RSA – 100 kN/eixo) e da retracção ($\epsilon_{cs} = -300 \times 10^{-6}$).

O dimensionamento conduziu a uma espessura tipo das lajes de betão de 0,12 m para os taludes que não estarão sujeitos a esforços estruturais e de 0,20 m para a laje de fundo (soleira).

Quanto às armaduras das lajes, admitiu-se a execução de duas hipóteses alternativas:

- betão armado com malhasol colocada a meio da espessura da laje;
- betão reforçado com fibras de aço.

Em todos os canais e para a grande maioria das secções, optou-se pela adopção de lajes de betão reforçadas com fibras de aço, devido ao seu menor custo, resultante sobretudo da maior facilidade e rapidez de execução.

2.2.9 Concepção e tratamento das juntas de construção e dilatação

Ao longo de todo o canal previu-se a execução de juntas esquarteladas, espaçadas de 4 m no sentido longitudinal do canal, bem como de duas juntas longitudinais nos taludes, situadas na generalidade 1,20 m acima da laje de fundo (Figura 3).



Figura 3 – Juntas nos canais. Aspecto do funcionamento do equipamento de betonagem, vibração e execução das juntas.

Nos troços em aterro, em que é necessário evitar fissurações que venham a permitir a passagem de água para o aterro e mitigar os efeitos dos assentamentos que se vierem a verificar, preconizou-se a construção de juntas totais de dilatação com colocação da membrana de estanquidade, afastadas transversalmente de 12, 24 ou 36 m, consoante a variação longitudinal da altura do aterro. Para permitir um apoio mais resistente às juntas, preconizou-se a colocação sob a junta de lajetas de betão armado, pré-fabricadas, com 5 cm de espessura.

Nas juntas de construção resultantes da suspensão da betonagem contínua do canal, previu-se a instalação de um perfil hidroexpansivo após tratamento da junta.

2.3 Automação e regulação

O esquema de regulação dos canais foi definido de modo a que proporcione uma capacidade de resposta adequada às necessidades de derivação de água ao longo dos canais. A regulação dos caudais derivados será efectuada com controlo por montante, embora com base nos níveis a jusante.

O controlo dos caudais nas secções finais e intermédias dos vários troços de canal é efectuado através de comportas planas com servomotor hidráulico.

O dimensionamento das comportas de regulação instaladas no final de cada trecho de canal foi efectuado tendo em consideração o caudal máximo a derivar, a carga máxima a montante e o desnível mínimo admissível entre os planos de água respectivamente a montante e a jusante das comportas. As comportas deverão funcionar afogadas por jusante. As comportas estão instaladas em estruturas de regulação, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4 – Estrutura de regulação do canal Pisão-Roxo.

Para regulação do funcionamento do canal, preconizou-se a instalação de sistemas de medição de nível e de caudal a montante das estruturas de regulação e de medição de nível a montante dos sifões.

Para a avaliação do estado de colmatção das grelhas na entrada dos sifões e nas derivações para a rede secundária de rega, preconizou-se a instalação de sistemas de medição de nível a montante e a jusante de tais grelhas.

Os sistemas de medição de nível são essencialmente constituídos por uma sonda do tipo hidrostática adequada para uma medição em superfície livre, constituída por um sensor de pressão e por um transdutor instalado no interior do respectivo corpo.

Para a medição de caudais, previu-se a instalação de um sistema de medição adequado para instalação em canal aberto, esporadicamente com águas muito carregadas, com quatro planos colocado a montante das comportas de regulação e com dois planos instalado a jusante das comportas das derivações. O equipamento de medição de caudal utilizará a tecnologia ultra sónica para a medição do tempo de trânsito de um sinal, em múltiplos percursos, tendo em vista uma medição de caudal com precisão requerida para o controlo do canal.

2.4 Obras acessórias

2.4.1 Descargas de fundo

O canal tem descargas de fundo instaladas junto às estruturas de regulação ou obras de entrada dos sifões que permitirão, sobretudo, a descarga de sedimentos acumulados na zona baixa do canal situada junto às referidas estruturas. Permitem, ainda, em caso de necessidade, o esvaziamento do canal, nomeadamente dos troços situados a montante de cada descarga.

Estas descargas são constituídas por uma comporta de corrediça instalada no muro lateral do canal, por uma tubagem de Ferro Fundido Dúctil (FFD) DN 300 mm e uma estrutura de dissipação de energia por impacto, situada na extremidade de jusante da tubagem. A restituição à linha de água mais próxima será efectuada por um canal escavado. O tabuleiro será manobrado por um volante apoiado numa peanha instalada superiormente à comporta.

2.4.2 Passagens superiores

De forma a permitir o atravessamento de pessoas, animais e veículos em condições de segurança e restabelecendo caminhos existentes ou permitindo o traçado de novos caminhos, foram previstas diversas passagens superiores ao longo dos canais (Figura 5).



Figura 5 – Passagem superior.

De um modo geral, a solução estrutural das passagens superiores é constituída por um tabuleiro de um só vão que apoia em encontros betonados *in situ*. Transversalmente, o tabuleiro apresenta uma plataforma de 6,50 m de largura total que comporta uma faixa de rodagem de 6,00 m e duas vigas de bordadura de 0,25 m, que suportam os guarda-corpos.

2.4.3 Rampas de salvamento e acesso

Estas rampas permitem a saída de animais e pessoas que involuntariamente caíam no canal quando houver escoamento. Previu-se a instalação transversal ao canal de cabos de salvamento com bóias, de modo a facilitar a aproximação e o acesso à rampa a partir do interior (Figura 6). As rampas permitem também o acesso ao interior da obra de máquinas e viaturas afectas a serviços de manutenção e limpeza.



Figura 6 – Rampa de salvamento e acesso ao canal.

A generalidade dos troços tem, para além de uma rampa junto ao extremo de jusante do troço, também uma junto à respectiva extremidade de montante, de modo a permitir que o acesso de máquinas e viaturas possa ser efectuado pelos dois extremos. Previu-se a instalação de rampas a montante de qualquer estrutura singular no canal, como sifões, comportas ou troços de canal coberto.

2.4.4 Escadas de salvamento e acesso

Este tipo de escadas permite a saída de pessoas que involuntariamente caiam no canal. Foram instalados cabos com bóias transversalmente ao canal que facilitem a aproximação e o acesso à escada quando exista escoamento. As mesmas escadas permitirão o acesso ao interior do canal de pessoal para efeito de manutenção e limpeza, quando este estiver a seco.

As escadas serão construídas com perfis de aço galvanizado. A sua fixação ao talude do canal é efectuada por aparafusamento após a respectiva betonagem. A concepção das escadas metálicas teve em conta o objectivo de não perturbação do escoamento no canal e, conseqüentemente, de minorar a possibilidade de fixação de material transportado pelo escoamento.

2.4.5 Descarregadores de segurança

Tendo por objectivo a minimização das descargas dos canais para as linhas de água adjacentes, não só para diminuição de perdas operacionais mas também para redução do risco da mistura das águas, foi implementado um adequado sistema de automação, controlo e regulação hidráulica (mecânico e eléctrico) em cada canal.

No entanto, em situação excepcional (de emergência) em que o volume excessivo de água possa levar a uma ruptura local ou geral das obras, será necessário efectuar o fechamento rápido e simultâneo das comportas de montante e jusante de cada trecho, havendo por isso a necessidade de prever a existência de descarregadores para escoar para fora do canal os caudais em excesso.

Os descarregadores foram localizados a montante das comportas de regulação e seccionamento existentes. Para a sua materialização, foram instaladas estruturas em sifão (do tipo SAFETY SIPHONS® – ALSTOM), dimensionados de forma a poder descarregar o excesso de caudal em caso de acidente (ex. rotura do canal) ou funcionamento deficiente das comportas (Figura 7).



Figura 7 – Descarregador de segurança.

2.5 Medidas Ambientais

2.5.1 Considerações prévias

Em termos ambientais, os projectos dos canais previram a implementação de medidas que permitem mitigar os impactes negativos decorrentes dos efeitos barreira e armadilha associados a uma obra linear deste tipo. Para além disso, foram adoptadas medidas para reduzir o risco da mistura das águas de diferentes bacias hidrográficas.

Estas tipologias de impacte são, de resto, consensualmente consideradas como as afectações potencialmente mais gravosas que os canais em fase de exploração poderão representar para o ambiente e, mais concretamente, para a Biota.

2.5.2 Atenuação do efeito barreira - Passagens para fauna

Para a atenuar o efeito barreira provocado pela existência dos canais a céu aberto, foram previstas passagens específicas para fauna (tipo passagem hidráulica – que permite a travessia sob o canal, ou tipo passagem superior, em áreas de maior relevância faunística) que permitirão o atravessamento de animais de médio porte.

Para os animais de pequeno porte e para espécies mais tolerantes à perturbação de origem antrópica, foram previstas zonas específicas de circulação nas passagens superiores (Figura 8).



Figura 8 – Zonas de passagem para fauna nas passagens superiores.

2.5.3 Redução do efeito armadilha - Vedações

A fim de reduzir o efeito armadilha e impedir o acesso fácil de pessoas e animais ao canal, previu-se a colocação de uma vedação em rede progressiva de arame, com prumos de madeira impregnados em autoclave, afastados de 4 m, com arame farpado no topo e na base.

A altura da vedação acima do solo será de 1,50 m, ficando a fiada de arame farpado e o extremo superior da rede, respectivamente 5 cm e 15 cm abaixo do topo dos postes. Previu-se, ainda a instalação de uma rede adicional com 1,00 m de altura para impedir a passagem de pequenos animais, quer através, quer por baixo da vedação, que deverá ter uma malha 2x5 cm e será enterrada cerca de 0,4 m – Figura 9.

As vedações são interrompidas por portões metálicos de duas folhas com 4 m de largura, nas zonas de acesso a veículos, e por portões de madeira com 0,80 m de largura, nas zonas em que apenas se permita o acesso a peões.



Figura 9 – Vedações.

2.5.4 Minimização do risco da mistura das águas de diferentes bacias hidrográficas - Bacias de retenção de caudais nos descarregadores de segurança

Tendo por objectivo a minimização das descargas dos canais para as linhas de água adjacentes, não só para diminuição de perdas operacionais mas também para redução do risco da mistura das águas de diferentes bacias hidrográficas, foi implementado um adequado sistema de automação, controlo e regulação hidráulica (mecânico e eléctrico) em cada canal.

No entanto, em situação excepcional (de emergência) em que o volume excessivo de água no canal possa levar a uma ruptura local ou geral das obras, será necessário efectuar o fechamento rápido e simultâneo das comportas de montante e jusante de cada trecho, havendo por isso a necessidade de prever a existência de descarregadores de segurança para escoar para fora do canal os caudais em excesso.

Os caudais descarregados poderão não ser compatíveis com a capacidade das linhas de água adjacentes, pelo que foi necessário elaborar um projecto de infra-estruturas para mitigação do impacte das descargas dos descarregadores de segurança.

Pretendeu-se que o projecto indicasse a melhor solução possível, dos pontos de vista técnico, financeiro e ambiental para que, na eventualidade da entrada em funcionamento dos descarregadores de segurança, os caudais descarregados provoquem o menor impacte negativo possível a jusante, tendo em conta as questões relativas aos fenómenos de erosão, de alagamento de terrenos e de mistura de águas.

Sendo os caudais descarregados elevados (uma vez que os volumes são descarregados em curtos períodos de tempo), optou-se por criar pequenos reservatórios (ou bacias de retenção) – Figura 10 – que colectam os volumes máximos que é previsível descarregar, sendo estes posteriormente escoados para jusante com pequenos caudais, consentâneos com a capacidade das linhas de água que lhes estão mais próximas. Pretende-se, ainda, que os reservatórios estejam vazios quando ocorrerem as descargas de segurança.



Figura 10 – Bacia de retenção.

3 REFORÇO DE CANAIS. CASO DE ESTUDO: TROÇO DO CANAL PISÃO-ROXO JUNTO À PEDREIRA DE BERINGEL

O troço Pisão-Roxo encontra-se implantado, numa extensão de cerca de 1 km, numa zona anexa à pedreira existente entre Beringel e Ferreira do Alentejo. Nesta zona, o traçado foi condicionado quer pela orografia do terreno quer pelo traçado do futuro IP8 junto à estrada EN121 existente. Encontrando-se a pedreira em exploração, e antes da construção do canal, procedeu-se a medições das velocidades de vibração resultantes dos trabalhos de desmonte com explosivos efectuados na pedreira por forma a avaliar as implicações na estrutura do canal.

De acordo com a NP 2074, de 1983, o valor limite da velocidade de vibração é função do produto de três coeficientes. Um coeficiente que tem em conta as características do terreno de fundação (no presente caso foi adoptado o valor 2 correspondente a rochas e solos coerentes rijos), um coeficiente que tem em conta o tipo de construção (0,5 no presente caso tratando-se de uma construção que exige cuidados especiais) e um coeficiente que tem em conta o número médio de solicitações (no presente caso assumiu-se o valor 1 tendo em conta que o número médio de solicitações diárias será inferior a 3).

Por aplicação da referida expressão verifica-se que para a estrutura do canal, a velocidade máxima de vibração deverá ser de 10 mm/s. Este valor não deverá ser excedido sob pena de poder ocorrer fendilhação, que no caso de um canal poderá conduzir a perdas de água e à consequente inoperacionalidade. Refira-se que, caso se considerasse o canal como uma construção corrente, o valor limite da velocidade de vibração passaria a ser de 20 mm/s.

De forma a verificar as velocidades de vibração no troço de canal junto à pedreira, efectuou-se o registo das velocidades de vibração decorrentes dos rebentamentos efectuados na pedreira entre os dias Julho e Setembro de 2008. No Quadro 1 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos.

Quadro 1 – Resumo dos registos das velocidades de vibração.

Data	Local	Distância ¹ (m)	Altura bancada (m)	Carga total (kg)	Velocidade de vibração ² (mm/s)
31-07-2008	Piso 4	315	7	1 050	13.4
07-08-2008	Piso 2	368	11	1 750	4.03
11-08-2008	Fundo da pedreira	210	Piso térreo	1 400	18.9
14-08-2008	Fundo da pedreira - Piso n.º 5	202	11	1 475	5.7
18-08-2008	Fundo da pedreira - Piso n.º 5	202	11	1 500	6.27
04-09-2008	Fundo da pedreira - Piso n.º 5	202	11	1 900	9.04
16-09-2008	Fundo da pedreira - Piso n.º 5	202	12.5	1 800	3.35

Notas:

¹ Distância entre a zona do rebentamento e o ponto de medição da vibração; o ponto de medição não se localiza exactamente no eixo do canal mas a cerca de 100 m; Assim, a distância entre a zona de rebentamento e o canal é a que consta do quadro anterior acrescida de cerca de 100 m.

² A velocidade de vibração indicada corresponde à resultante das componentes transversal, vertical e longitudinal da velocidade de vibração.

Na Figura 11 apresenta-se a localização do canal bem como do local onde foram efectuados os registos de vibrações. Dos resultados obtidos constata-se que dos sete registos disponíveis, apenas em dois rebentamentos as velocidades de vibração excedem o limite admissível. No entanto, verifica-se que, em qualquer desses dois casos, o valor obtido não excede o limite para construções correntes (20 mm/s). Com base na análise dos valores do Quadro 1 verificou-se não ser possível obter uma relação directa entre a velocidade de vibração e a carga total ou a distância ao ponto de registo. Por exemplo no rebentamento de 11/08/2008 realizado no fundo da pedreira (piso térreo), a cerca de 300 m do canal, com uma carga de 1 400 kg obteve-se uma velocidade de vibração duas vezes superior à obtida no rebentamento de 04/09/2008 realizado no fundo da pedreira (piso n.º 5) a uma distância igualmente de cerca de 300 m, mas com uma carga de 1 900 kg.



Figura 11 – Canal Pisão-Roxo, na zona da Pedreira. Traçado, localização do ponto de registo de vibrações e limites da zona de reforço do canal.

Em face dos resultados obtidos, entendeu-se prudente proceder à protecção/reforço do canal no troço entre os km 4+850 e km 6+300. Tendo em vista evitar fissurações excessivas, a solução proposta para o reforço do canal passou pelo aumento da densidade das fibras em 50%. Para além disso, propôs-se, ainda, a colocação de uma geomembrana de PVC sobre o betão de forma a garantir a impermeabilização do canal em caso de fissuração excessiva do betão.

4 MONITORIZAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

Todas as estruturas descritas nesta comunicação estão já construídas, não se tendo verificado problemas relevantes na execução das respectivas obras.

A generalidade destas obras está em fase de exploração apenas há cerca de dois anos, pelo que os caudais aduzidos estão distantes dos de dimensionamento (actualmente estará a funcionar cerca de 50% da área de rega prevista).

No entanto, há desde já a destacar o seguinte:

- veio a confirmar-se em obra que a opção por lajes de betão reforçadas com fibras de aço facilitou bastante a execução do canal, permitindo rendimentos de trabalho impossíveis de alcançar caso fosse utilizada uma solução tradicional de betão armado; verifica-se, também, que em termos de resistência e impermeabilidade, esta solução tem vindo a confirmar-se adequada durante o (curto) período de exploração que entretanto decorreu;
- o sistema de drenagem da fundação das lajes, com complexidade bastante superior ao utilizado em casos análogos, revelou-se indispensável tendo em conta os elevados níveis freáticos existentes e as características geométricas das obras;
- tendo em conta o período que já decorreu desde a conclusão das obras, parece confirmar-se a adequabilidade e a importância do sistema de juntas transversais e longitudinais adoptado, designadamente para fazer face aos (previsíveis) assentamentos, com especial relevo nas zonas de aterro;
- o sistema de automação e regulação do funcionamento dos canais foi totalmente instalado e encontra-se pronto para funcionar; no entanto, tem-se verificado instabilidades na regulação

de níveis e caudais, pelo que, aliás como previsto, exige-se a sua aferição e calibração durante a exploração de modo a melhorar o seu funcionamento;

- especificamente em relação ao sub-sistema de Alqueva, dever-se-á articular eventuais futuros ajustes nos autómatos com os resultados do modelo de simulação e optimização do funcionamento do sub-sistema, o qual a AQUALOGUS está actualmente a desenvolver;
- relativamente às medidas ambientais, refere-se que está a ser implementado o Programa de Monitorização da Eficácia das Medidas de Minimização do Efeito Barreira e do Efeito Armadilha nos troços de ligação definidos no âmbito do referido programa, o qual tem demonstrado que as passagens superiores e inferiores são frequentemente utilizadas por animais domésticos e por diferentes espécies de fauna silvestre.

Os aspectos que agora se destacam terão que continuar a ser acompanhados durante a fase de exploração das obras, de modo a confirmar a adequabilidade das soluções adoptadas e a avaliar a necessidade de eventuais ajustes.