

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/299604622>

Modernização de canais de rega. Uma aplicação

Conference Paper · April 2014

CITATIONS

0

READS

70

1 author:



[Manuel Rijo](#)

Universidade de Évora

54 PUBLICATIONS 361 CITATIONS

SEE PROFILE

MODERNIZAÇÃO DE CANAIS DE REGA. UMA APLICAÇÃO*

Manuel Rijo^{1(*)}, Bruno Inácio²

¹ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal

²Cegelec - Instalações e Sistemas de Automação Lda, Loures, Portugal

(*)Email: rijo@uevora.pt

RESUMO

O artigo faz a apresentação do projeto, implementação e calibração de campo do sistema de supervisão e controlo (SCADA) dos canais primários do Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Sado (Portugal).

Os canais estão equipados com o controlo automático local por montante e os controladores são comportas de segmento do tipo AMIL. Estes controladores conservam o nível de água imediatamente a montante, independentemente do caudal em circulação e os caudais são controlados manualmente à cabeça dos canais.

O artigo, para além da descrição sumária do sistema hidráulico, faz a apresentação do sistema SCADA desenvolvido e implementado, incluindo alguns sinópticos e as respectivas estações de campo. O artigo faz também a apresentação dos controladores digitais desenvolvidos para as admissões aos canais principais, para substituição do controlo manual – controladores direto e de posição das comportas (para a operação de comportas) e controladores de caudal para a instalação de caudais pré-definidos e os correspondentes ajustamentos automáticos das comportas de admissão. A supervisão de níveis de água nas secções mais importantes e dos caudais nas descargas principais para o sistema de drenagem são também apresentadas. Por último, o artigo apresenta a calibração de campo levada a efeito para ajustamento das equações de vazão a usar pelos controladores digitais.

Palavras-chave: Canais de rega, controlo de canais de rega, gestão de canais de rega, modernização de canais.

1. INTRODUÇÃO

A Diretiva Quadro da Água (CE, 2000), em vigor desde Dezembro de 2000, obriga os Estados-Membros a promoverem programas específicos de melhoria da eficiência de utilização deste recurso limitado e cada vez mais escasso. Os diferentes operadores vêem-se, deste modo, confrontados com a necessidade de promoverem medidas de combate ao desperdício da água na sua atividade e, em simultâneo, incentivarem alterações de hábitos e procedimentos aos seus utilizadores.

A procura de água em Portugal está estimada em $7,5 \times 10^9$ m³/ano (INAGa, 2001). De acordo com INAGb (2001), em termos de procura por sectores, verifica-se que a agricultura é claramente o maior utilizador, com um volume total de cerca de $6,55 \times 10^9$ m³/ano (87% do total), contra $0,57 \times 10^9$ m³/ano no abastecimento urbano (8% do total) e $0,385 \times 10^9$ m³/ano

* Este trabalho foi parcialmente suportado pelo projeto FCT - ORCHESTRA (PTDC/EMS-CRO/2042/2012) e desenvolvido no âmbito do projeto de execução e da respectiva empreitada Modernização dos Canais Primários da Associação de Beneficiários do Vale do Sado, esta a cargo da empresa Cegelec – Instalações de sistemas de automação, Lda.

na indústria (5% do total). INAGb (2001) estima ainda que, para a agricultura, as ineficiências no uso da água sejam cerca de $2,75 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$ (42% do total usado).

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (INAGa, 2001), decorrente da aplicação da Lei da Água (Lei nº58/2005, de 29 de Dezembro, que transpõe a Diretiva Quadro da Água para o direito português), define metas ambiciosas para Portugal atingir no próximo futuro. Estas metas e as outras exigências definidas na mesma Lei, assim como a competição crescente entre os diferentes sectores de atividade, estão a pressionar o regadio para aumentar a produtividade da água. Num futuro próximo, a agricultura vai ter de competir em pé de igualdade pelo uso da água com os outros sectores.

A revisão do regime jurídico português de gestão da água exigiu a publicação de vários diplomas em complemento à Lei da Água, como sucede com o regime da utilização e com o regime económico e financeiro dos recursos hídricos, que define a Taxa de Recursos Hídricos, que incide sobre os volumes de água captados, desviados, represados ou utilizados. Esta taxa aparece como mais um custo a ter em conta pelos diferentes utilizadores de recursos hídricos e, no caso do regadio, este novo custo, a somar a outros que têm em conta as necessidades de operação, manutenção e amortização dos sistemas de rega, vai incidir sobre os volumes de água represados, quase sempre. Isto é, as ineficiências ao nível do transporte e da distribuição vão ser pagas, constituindo uma pressão adicional para a modernização dos sistemas hidráulicos.

Pelas razões apontadas, o aumento dos preços da água para rega está na ordem do dia. Nomeadamente nos Aproveitamentos Hidroagrícolas, concebidos e construídos pelo Estado Português, a discussão sobre o preço da água já se iniciou, visando a melhoria da eficácia da sua utilização e a satisfação da necessidade de financiamento dos custos de investimento, de exploração e de manutenção dos sistemas de armazenamento, de transporte e de distribuição.

Nos Aproveitamentos Hidroagrícolas, a gestão e operação dos sistemas de transporte e distribuição de água [†]condicionam, por si só, a qualidade do serviço prestado aos utentes, a eficiência no uso da água e os impactos da rega ao nível da parcela e da bacia hidrográfica. Esta operação exige, habitualmente, a mobilização de elevados recursos – humanos, transporte, *hardware* e *software*. Estes recursos têm de ser mobilizados de modo eficaz, de forma a responder adequadamente às perturbações (caudais e/ou alturas de água) previsíveis e aleatórias do sistema hidráulico.

Diferentes restrições técnicas (complexidade na operação dos equipamentos, tempos de resposta e temporizações necessárias, não linearidades) e de funcionamento (riscos de galgamento, estabilidade das bermas) tornam difícil a gestão habitual destes canais. Os canais tradicionais operados manualmente têm, em regra, uma qualidade de serviço medíocre. Esta má qualidade reflete-se, nomeadamente, nas más produções das culturas e nas baixas eficiências de transporte/distribuição da água (relação entre os volumes entregues nas tomadas de água e os admitidos ao sistema), que podem chegar a 30%. Um estudo do Ministério do Interior Americano, realizado em 60 perímetros de rega nos EUA, refere que a eficiência média obtida foi de 44% (ASCE, 1993). Rijo e Almeida (1993) calcularam o valor de 40% num perímetro de rega português.

Nos últimos anos, tem-se assistido a avanços espetaculares ao nível dos equipamentos (*hardware*) e das soluções numéricas (*software*) na área da operação e controlo de canais, mas a sua aplicação aos protótipos tem sido lenta. Várias razões se podem apontar para a fraca

[†] Por razões técnicas e económicas, estes sistemas são, quase exclusivamente, em canal. Estes são os únicos sistemas que se consideram no presente artigo.

integração dessas modernas tecnologias, nomeadamente, os elevados custos de investimento[‡], a falta de preparação técnica para a sua operação e manutenção e a desconfiança ainda reinante nos atuais gestores relativamente às novas tecnologias.

Pelas razões apontadas, os Aproveitamentos Hidroagrícolas em Portugal, embora de forma lenta, têm vindo a modernizar os respectivos canais de transporte e distribuição de água.

O artigo, para além da descrição sumária da rede primária do Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Sado (AHVS), apresenta o sistema de televigilância e controlo, habitualmente designado por SCADA (acrónimo inglês que significa *Supervisory Control And Data Acquisition*), dos respectivos canais primários, desenvolvido e implementado, incluindo alguns sinópticos e as respectivas estações de campo. O artigo faz também a apresentação dos controladores digitais desenvolvidos para as admissões aos canais principais –controladores direto e de posição das comportas (para a operação de comportas) e controladores de caudal para a instalação de caudais pré-definidos e os correspondentes ajustamentos automáticos das comportas de admissão. A supervisão de níveis de água nas secções mais importantes e dos caudais nas descargas principais para o sistema de drenagem são também apresentadas. Por último, o artigo apresenta a calibração de campo levada a efeito para ajustamento das equações de vazão estabelecidas.

2. APROVEITAMENTO HIDROAGRÍCOLA DO VALE DO SADO

2.1. Apresentação geral

O AHVS está situado no Alentejo, no distrito de Setúbal e concelho de Alcácer do Sal.

O Aproveitamento encontra-se na bacia hidrográfica do Rio Sado, sendo abastecido pela albufeira do Pêgo do Altar, na Ribeira de Santa Catarina, e pela albufeira do Vale do Gaio, na Ribeira do Xarrama.

A rede primária do Aproveitamento é constituída pelo Canal Condutor Geral de Vale de Gaio (CGVG), com início na barragem de Vale de Gaio, pelo Canal de Gandra, Palma e Marateca (CGPM), com início na Barragem do Pêgo do Altar e pelo Canal de Santa Catarina (CSC), que interliga os dois outros canais. O CSC começa pouco depois do início do CGPM, no Nó das Romeiras, e termina no CGVG, no Nó das Chagas.

A Figura 1 faz a representação esquemática da rede primária do AHVS, em que os valores numéricos representam a capacidade de transporte dos diferentes canais em L/s .

O CGVG tem um comprimento total de 25,8 km e a sua capacidade de transporte à saída da barragem é de 4,968 $m^3 s^{-1}$. Para além da alimentação direta a algumas parcelas de rega, serve para o transporte dos caudais necessários à sua rede secundária, constituída pelos distribuidores em canal - Sanchares, São Romão, Várzea da Mó, Comporta e Matinho.

O CGPM tem um comprimento total de 45,3 km e sua capacidade de transporte à saída da barragem é de 4,734 $m^3 s^{-1}$. Para além da alimentação direta de algumas parcelas de rega, serve para transporte dos caudais necessários à respectiva rede de rega secundária, constituída pelos distribuidores Vale de Matança, Vale de Reis, Terça, Moncorvo e Palma.

O CSC tem 14,6 km e foi dimensionado para um caudal de 2,385 $m^3 s^{-1}$.

[‡] Em volume de investimento, porque em percentagem do investimento total (construção de todo o sistema de armazenamento, transporte e distribuição) o seu valor é insignificante (Rijo *et al.*, 2001).

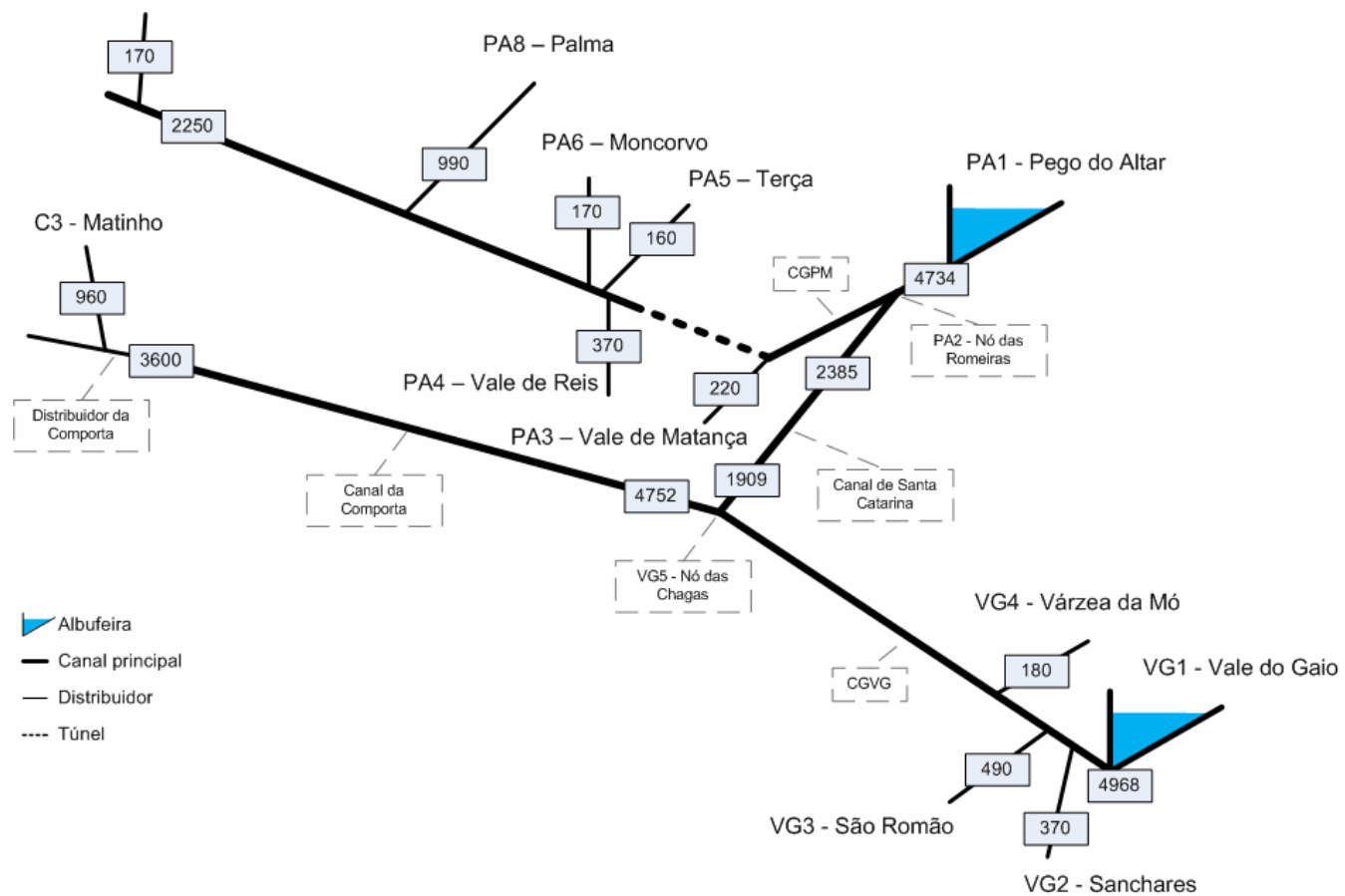


Figura 1. Representação esquemática da rede primária e secundária do AHVS e capacidade de transporte dos canais em L/s.

O AHVS possui um perímetro de rega com uma área total equipada de 9614 *ha*, beneficiando cerca de 850 regantes. A cultura predominante é, de longe, o arroz, seguindo-se-lhe o sorgo, o milho e os pomares.

2.2. Controlo dos canais primários e secundários

Os canais estão equipados com o controlo por montante, o controlo que equipa mais de 90 % dos canais de rega a nível mundial e o único instalado em Portugal (Rijo, 2001). Tal acontece porque o dimensionamento dos canais pode ser optimizado (secção transversal constante ao longo do percurso e com uma altura que, para além da folga usual, corresponde à altura de água uniforme para o caudal de projeto, $Q=Q_{max}$, Figura 2). Este controlo permite obter também grandes economias nos equipamentos, que podem ser muito simples.

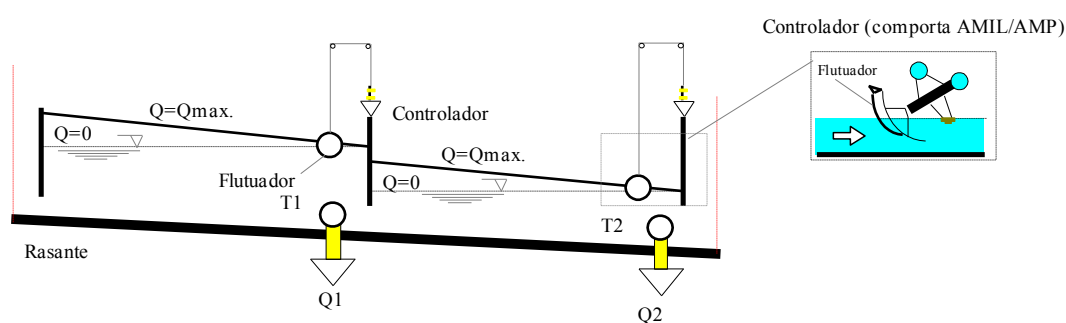


Figura 2. Controlo local por montante em dois trechos de canal.

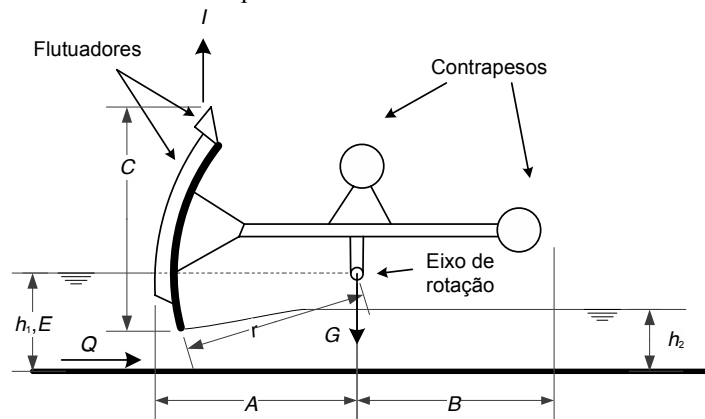
O controlo por montante é, contudo, exigente em mão-de-obra na operação e gestão dos canais, sendo também muito pouco eficiente no uso da água. A economia da água obriga a associação deste controlo a métodos rígidos de distribuição, nomeadamente a rotação (Rijo, 1997).

É muito difícil, política e socialmente, colocar em prática os métodos rígidos de distribuição de água exigidos pelo controlo local por montante (Rijo, 1997). Tal obriga, nomeadamente, à rega nos períodos noturnos, nos feriados e nos fins-de-semana, não permitindo nenhuma alteração aos horários de distribuição estabelecidos unilateralmente pelo responsável. Por isso, em Portugal, tais métodos de distribuição de água nunca foram postos em prática, apesar de os canais terem sido projetados e construídos para funcionarem associados a esses métodos. As consequências em termos de economia de água são pesadas; as perdas de água ultrapassam, por vezes, os 50% dos volumes admitidos, considerando apenas as redes primária e secundária (Rijo e Almeida, 1993), apesar da qualidade de serviço continuar relativamente baixa (Rijo, 1997).

O único controlador de alturas de água no interior dos canais do AHVS é a comporta AMIL (SOREFAME, 1953), uma comporta automática que, quando bem calibrada, impõe uma altura de água imediatamente a montante correspondente à cota de assentamento do seu eixo de rotação, independentemente do caudal em circulação e com uma precisão de cerca de 2% do valor do seu raio (Figura 2 e 3).



a) Vista de montante de duas comportas AMIL instaladas sobre o mesmo eixo de rotação.



b) Representação longitudinal

Figura 3. Comporta de segmento do tipo AMIL.

As comportas AMIL conservam altura de água imediatamente a montante recorrendo ao equilíbrio hidrodinâmico entre os momentos estáticos devidos ao peso da comporta e à impulsão hidrostática sobre o respectivo flutuador.

Apesar de a precisão ser relativamente baixa, existe um controlo automático dos níveis de água no interior de todos os canais. Mas, atendendo à lógica do controlo local por montante e à hidrodinâmica de cada trecho de canal (volume de água armazenado variando no mesmo sentido dos caudais afluentes ao trecho, Figura 2), este controlo deve ser, obrigatoriamente, complementado por um controlo manual dos caudais à cabeça de todos os canais, o que torna a gestão operacional complexa, inflexível e exigente em mão de obra e, eventualmente, em energia.

Qualquer desfasamento entre os caudais distribuídos e os caudais admitidos, origina uma de duas situações – caudais insuficientes nas tomadas de água, sobretudo nos trechos de canal mais a jusante, prejuízos consequentes para os cultivos de regadio e grande insatisfação por parte dos utentes; caudais em excesso no interior dos canais, tendo de sair para o sistema de drenagem ao longo dos canais ou nas secções terminais dos canais.

Como o controlo de caudais é manual, de modo a ter a certeza que não falta água nas tomadas, o responsável pela gestão operacional tende a admitir, quase sempre, caudais em excesso, tornando o sistema muito perdulário no uso da água (perdendo-se, muitas vezes, mais de 50 % dos caudais admitidos).

A via mais importante, de menores custos e com maiores e mais rápidos impactos na modernização de canais com controlo por montante é o recurso à instalação de sistemas de supervisão e controlo, usualmente designados por sistemas SCADA.

Exigindo o controlo por montante o controlo manual de caudais à cabeça de todos os canais, os sistemas SCADA permitem o seu ajustamento instantâneo à distância. Por outro lado, permitem a monitorização/visualização dos pontos mais importantes dos sistemas hidráulico em termos de controlo, segurança, economia de água e qualidade de serviço a prestar, incluindo as descargas principais para o sistema de drenagem e, deste modo, a visualização instantânea dos impactos das decisões de operação tomadas e a sua eventual correção em tempo real.

3. SCADA DA REDE PRINCIPAL E SECUNDÁRIA DE CANAIS DO AHVS

3.1. Apresentação geral

Exigindo os canais da AHVS o controlo manual dos caudais nas admissões, o primeiro objectivo do SCADA é o comando manual à distância dos órgãos de controlo de caudais nas admissões principais, canais primários e principais distribuidores, de modo a poder ajustar-se, em tempo real, os caudais admitidos aos caudais variáveis a distribuir.

O comando manual à distância dos órgãos de admissão aos canais é complementado por uma função de supervisão para definição de alarmes (riscos de galgamento de canais) também via SCADA – alturas de água em secções onde esses riscos são maiores e a montante e a jusante de comportas a telecomandar.

De modo a apoiar a tomada de decisão do responsável relativamente aos caudais a admitir, é importante poder dispor-se de informação, também em tempo real, dos caudais que saem para o sistema de drenagem, nomeadamente nas descargas principais. Esta função é garantida também pelo SCADA, principalmente para os terminais dos canais principais e para os nós hidráulicos da Romeira e das Chagas (Figura 1).

O SCADA é, basicamente, constituído pelos seguintes elementos:

- Centro de comando e supervisão – que permite o comando e a supervisão dos órgãos hidráulicos principais e a supervisão das alturas de água nas secções escolhidas;
- Unidades Locais (Estações de Campo) – que permitem a recolha de informação local e o comando dos órgãos hidráulicos, obedecendo às ordens do centro de comando e supervisão ou trabalhando de modo independente;
- Sistema de comunicações – que garante a troca de dados e de informação entre o centro de comando e supervisão e as unidades locais.

O centro de comando e supervisão está instalado na sede da ABVS – Associação dos Beneficiários do Vale do Sado, que tem a responsabilidade da gestão do AHVS. Tem como funções principais:

- Acesso remoto ao estado de cada uma das unidades locais e as respectivas supervisões, usando sinópticos atualizados “on-line” a partir da base de dados, de modo a que o operador possa aceder ao estado e comandar qualquer equipamento das unidades locais;

- Comando remoto dos equipados seleccionados;
- Gestão de alarmes, com impressão em papel contínuo e envio de mensagens escritas (SMS) para o telemóvel do operador caso este não se encontre presente no centro de controlo; o tipo de alarmes a enviar é configurável de acordo com o seu nível de urgência;
- Análise e arquivamento de dados;
- Gestão do sistema de adução em tempo real.

Em caso de falha de comunicações, é dado um alarme, sendo identificada(s) a(s) respectiva(s) estação(ões) de campo em falha.

O operador tem acesso aos dados, regra geral via sinópticos, que permitem uma leitura rápida do estado das estações de campo.

As diferentes estações de campo estão equipadas com autómatos de modo a terem capacidade de decisão local e receberem ordens do sistema de supervisão. Assim, mesmo que haja falha de comunicação com o centro de comando e supervisão, os autómatos locais permitem a implementação de decisões a nível local.

O SCADA tem a configuração geral que se apresenta na Figura 4.

3.2. Unidades locais

As unidades locais recebem informações (sinais eléctricos) dos sensores (medição do alturas de água, posição das comportas, etc) convertendo-as para variáveis com significado físico e armazenando-as numa base de dados própria (*data logging*). A conversão pode resultar da aplicação de uma escala linear (altura de água, por exemplo) ou resultar de um algoritmo de cálculo (caudal, por exemplo).

Periodicamente, esses dados são transferidos para a central de comando e supervisão, de modo a estarem sempre disponíveis para consulta e análise. A sincronização ocorre também sempre que se verifique uma condição de alarme.

Algumas unidades locais estão dotadas de automatismos de controlo que efetuam manobras de comando nas comportas, seguindo instruções do software local ou do centro de comando e supervisão.

As unidades locais são, essencialmente, unidades de comando e telemetria ou unidades de telemetria. As unidades são constituídas genericamente pelos seguintes elementos básicos:

- *autómato programável* - para gestão da unidade local, processamento de informação e troca de dados com o centro de comando e supervisão;
- *modem de comunicações* - para permitir a comunicação entre o autómato local e o centro de comando e supervisão;
- *interface homem-máquina (HMI)* - para permitir o acesso a informação local, comando e parametrização local do funcionamento do autómato;
- *comportas com actuadores eléctricos* - para controlarem o caudal admitido/distribuído;
- *equipamento de proteção e comando* - para acionamento dos actuadores;

- *sensores de altura de água e posição das comportas* - para fornecerem a indicação do estado das comportas/canal;
- *quadro de força motriz* - para alimentar o autômato, actuadores e restantes equipamentos;
- *baterias* - para armazenamento de energia, de modo a garantir a continuidade do funcionamento da unidade local mesmo para falhas na alimentação de energia;
- *abrigo* - para albergar os equipamentos.

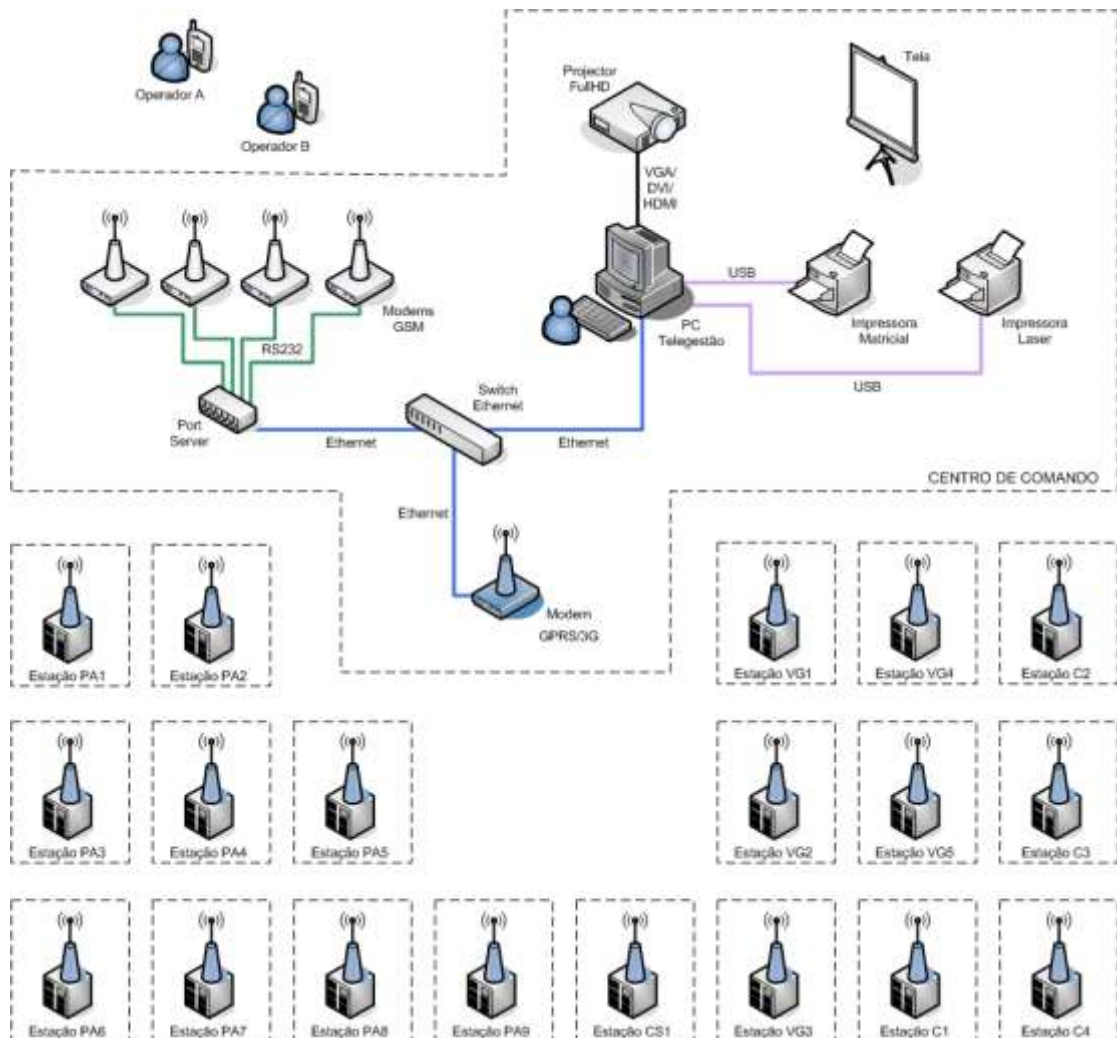


Figura 4. Configuração geral do SCADA da rede primária e secundária do AHVS.

As 19 estações de campo do SCADA são apresentadas na Tabela 1, onde se apresenta também uma caracterização técnica mínima de cada estação.

No caso em estudo, existem dois tipos de estações de campo, apenas com a função de monitorização (Est_m), ou com as funções de monitorização e atuação (Est_{ma}) (Tabela 1).

As Est_m não possuem equipamento para telecomando, tendo apenas a função de *data logging* e posterior envio dos dados guardados para o centro de comando e supervisão e reúne uma ou mais das funções que seguem:

- monitorização de alturas de água – a montante (h_1) ou a jusante (h_2) de um órgão ou estrutura hidráulica (limpa grelhas, comporta, descarregador frontal ou lateral); a monitorização das alturas de água a montante e a jusante de máquinas limpa grelhas serve para automatização do seu funcionamento em função da perda de carga no equipamento, que varia com a colmatação da grelha, e é sem recurso ao autómato da estação do SCADA (não há atuação via SCADA);
- monitorização de caudais para o sistema de drenagem através de descarregadores (Q_1) ou com recurso a caudalímetro (Q_2).

As Est_{ma} possuem equipamento para telecomando, função de *data logging* e posterior envio dos dados guardados para o centro de comando e supervisão e reúnem as funções que seguem:

- monitorização de alturas de água – a montante (h_1) ou a jusante (h_2) de um órgão ou estrutura hidráulica (limpa grelhas, comporta, descarregador frontal ou lateral);
- monitorização de caudais para o sistema de drenagem através de descarregadores (Q_1) ou com recurso a caudalímetro (Q_2);
- controlo de caudais a admitir ao distribuidor (Q_3) – à exceção da estação PA2, em que o controlo de caudais diz respeito aos caudais a derivar para jusante no CGPM ou para jusante no CSC (ambos canais primários), o controlo de caudais é realizado nas admissões aos distribuidores (canais secundários).

3.3. Controladores digitais instalados nos autómatos

Controlador Direto para uma ou mais comportas (D, Tabela 1)

O controlo direto de uma comporta consiste na capacidade de um utilizador – através de uma *HMI* – acionar um botão para a abrir, fechar ou parar numa determinada posição. Estas ações de comando podem ser arbitrárias (decisão do operador humano) ou resultar de um controlador automático.

A sua aplicabilidade prática está relacionada com atividades de manutenção/testes no canal ou nos equipamentos, necessidade de atuar de imediato no canal e também para serem usados como parte final de controladores mais sofisticados instalados na cadeia de controlo.

A Figura 5 representa o controlador direto específico para uma comporta. A ordem de comando – *Cref* – pode ser enviada por uma *HMI*, pelo PC Central (SCADA) ou através do *PLC* local. O controlador direto, em função do estado da comporta (*Cstatus*), envia a ordem de comando para o actuador (*COMANDO C*). É garantido um tempo de paragem mínimo ($\square T_{OFF}$), calculado com base no número de arranques por hora permitidos pelo motor.

O controlador direto específico para duas ou mais comportas é análogo ao controlador direto para comporta única. Contudo, é permitido especificar uma ordem de comando em simultâneo (*Cref*) ou individualizado para cada uma das comportas.

Tabela 1. Estações de campo do SCADA e apresentação sumária das respectivas soluções técnicas

Estação Local		Tipo estação	Nº Comportas	Escoam. comportas	Monitorização	Descarregadores	Controladores	Energia
Canal Gândara, Palma e Marateca-CGPM								
PA1	Albufeira do Pego do Altar	Est _m	---	---	h_1	---	---	Rede
PA2	Nó das Romeiras	Est _{ma}	2+1	Livre/Subm	h_1, h_2, Q_1	1	D, P, Q_3	Rede
PA3	Distribuidor de Vale de Matança	Est _{ma}	1	Livre/Subm	h_1, h_2	---	D, P, Q_3	Rede
PA4	Distribuidor de Vale de Reis	Est _{ma}	1	Livre	h_1	---	D, P, Q_3	Painel solar
PA5	Distribuidor da Terça	Est _{ma}	1	Livre	h_1	---	D, P, Q_3	Painel solar
PA6	Distribuidor de Moncorvo	Est _{ma}	1	Livre	h_1	---	D, P, Q_3	Painel solar
PA7	Limpa Grelhas do Ouvidor	Est _m	---	---	h_1, h_2	---	---	Rede
PA8	Distribuidor da Palma	Est _{ma}	3	Livre	h_1	---	D, P, Q_3	Rede
PA9	Terminal do CGPM	Est _{ma}	1	Livre	h_1, Q_1	2	D, P, Q_3	Painel solar
Canal de Santa Catarina-CSC								
CS1	Limpa Grelhas Barrosinha	Est _m	---	---	h_1, h_2	---	---	Rede
Canal Condutor Geral Vale do Gaio-CGVG								
VG1	Albufeira do Vale do Gaio	Est _m	---	---	h_1	---	---	Rede
VG2	Distribuidor de Sanchares	Est _{ma}	2	Livre	h_1	---	D, P, Q_3	Rede
VG3	Distribuidor de São Romão	Est _{ma}	2	Livre	h_1	---	D, P, Q_3	Rede
VG4	Distribuidor da Várzea da Mó	Est _{ma}	1	Livre	h_1, Q_1	1	D, P, Q_3	Painel solar
VG5	Nó das Chagas (Sifão)	Est _m	---	---	h_1, Q_1, Q_2	2		Painel solar
Canal da Comporta								
C1	Limpa Grelhas Quintinha	Est _m	---	---	h_1, h_2	---	---	Rede
C2	Limpa Grelhas Murta	Est _m	---	---	h_1, h_2	---	---	Rede
C3	Distribuidor do Matinho	Est _{ma}	2	Livre/Subm	h_1, h_2	---	D, P, Q_3	Rede
C4	Terminal do Distrib. da Comporta	Est _{ma}	1+1	Livre/Subm	h_1, h_2, Q_1	1	D, P, Q_3	Rede

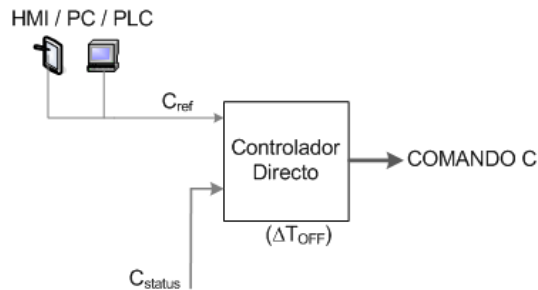


Figura 5. Controlador direto, específico para uma comporta.

Controlador de Posição para uma ou mais comportas (P, Tabela 1)

A Figura 6 representa o controlador de posição específico para uma comporta. A ordem de comando – X_{ref} – pode ser enviada por uma *HMI*, pelo PC Central (SCADA) ou através do *PLC* local. De acordo com o exposto, o controlador de posição compara a nova posição requerida (X_{ref}) com a posição actual (X_{med}). Dessa comparação, resulta uma ordem de comando (Abrir/Fechar/Stop) a transmitir ao controlador direto, descrito anteriormente.

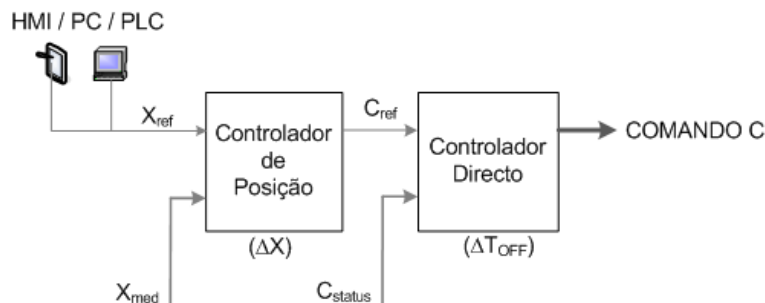


Figura 6. Controlador de posição, específico para uma comporta.

As saídas do controlador de posição vão ser as entradas do controlador direto.

Nas unidades locais com duas ou três comportas, é possível indicar um *setpoint* para o conjunto das comportas ou para cada uma em particular. Existe ainda a possibilidade de sincronizar as posições das comportas para um ponto médio.

Controlador de Caudal para uma ou mais comportas (Q₃, Tabela 1)

A Figura 7 apresenta o controlador de caudal para comporta única. Associado ao algoritmo de caudal, existe um controlador direto responsável pelo envio da ordem de comando para o actuador eléctrico da comporta.

O cálculo do desvio (e_Q) entre o caudal actual (Q , dado pela equação de vazão da comporta) e o novo caudal (Q_{ref}), pode originar três situações distintas (C_{ref}):

- Se $e_Q > \Delta Q$ (erro positivo: necessidade de aumentar o caudal) - Abre comporta;
- Se $e_Q < \Delta Q$ (erro negativo: necessidade de diminuir o caudal) - Fecha comporta;
- Se $e_Q = 0$ (erro nulo: necessidade de manter o caudal) - Imobiliza a comporta.

A saída do controlador de caudal – C_{ref} – representa as ordens de abrir/fechar a comporta. As restantes entradas no controlador directo são C_{status} (estado da comporta – aberta/fechada) e $\square T_{OFF}$ (tempo mínimo de paragem entre arranques).

No controlador de caudal para duas ou mais comportas, o caudal Q é a soma dos caudais de cada uma das comportas.

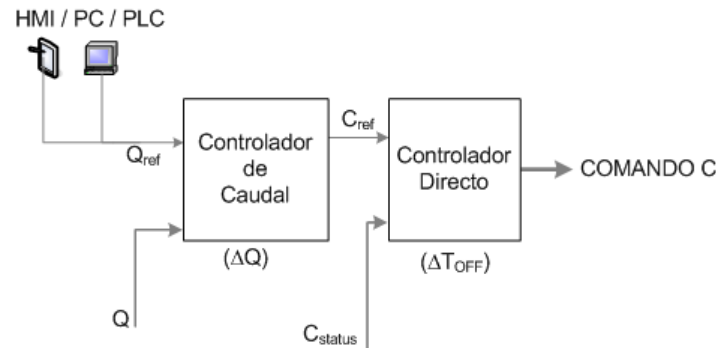


Figura 7. Controlador de caudal, por *setpoint*, para uma comporta.

Cálculo do caudal Q – As estruturas de controlo de caudais nas admissões aos canais podem funcionar como descarregadores (comportas acima da superfície livre) ou como comportas e, para cada situação, haver ainda situações de escoamento livre (ressalto hidráulico livre a jusante), escoamento parcialmente submerso e escoamento totalmente submerso. O algoritmo geral de cálculo de Q usado nos autómatos garante a continuidade das soluções para todo o domínio de funcionamento das estruturas, não havendo lugar a descontinuidades numéricas.

Considere-se o esquema geral da Figura 8, que representa uma comporta associada a uma soleira baixa ($p_1 \rightarrow 0$ e $p_2 \rightarrow 0$), e considere-se a equação geral de vazão do descarregador controlado por comporta

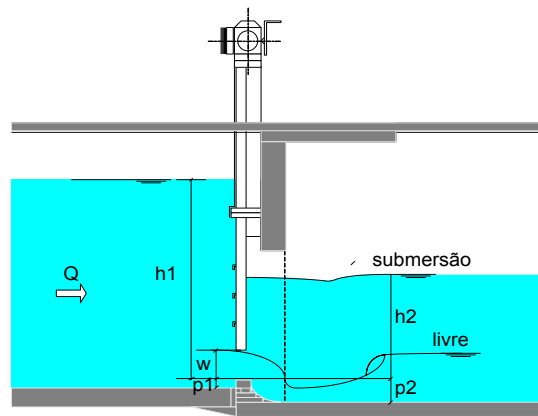


Figura 8. Comporta associada a soleira baixa.

$$Q = L \sqrt{2g} \, k_a h_1^{3/2} \, k_b (h_1 - w)^{3/2}, \quad (1)$$

em que L é o comprimento do descarregador, g é a aceleração da gravidade e em que $k_a = k_F \mu$ e $k_b = k_{F1} \mu_1$, sendo k_F e k_{F1} coeficientes de redução e μ e μ_1 , coeficientes de vazão para a situação de escoamento livre. O escoamento é do tipo:

- Descarregador, quando $w \geq h_1$ e $k_b = 0$;
- Comporta, quando $w < h_1$.

Quer para o caso do descarregador, quer para o caso da comporta, as passagens de escoamento livre para parcialmente submerso e deste para totalmente submerso são definidas tendo por base a relação entre h_2 e h_1 .

O algoritmo geral de cálculo usado é apresentado em Rijo *et al.* (2007).

Monitorização de caudais em descarregadores para uma ou mais comportas (Q₁, Tabela 1)

A equação usada no cálculo dos caudais sobre soleiras delgadas ou espessas é a seguinte:

$$Q = L \sqrt{2g} h_1^{3/2} \quad , \quad (2)$$

válida para o caso de escoamento livre sobre o descarregador, o que é sempre o caso.

3.4. Comunicações

A arquitetura de comunicações entre centro de comando e as unidades locais é baseada numa APN de um operador móvel, sobre GPRS/UMTS. Através dessa solução, o sistema fica dotado de uma rede Ethernet, apresentado assim inúmeras vantagens, nomeadamente:

- Comunicação em tempo real com todas as estações em paralelo;
- Comunicação entre as várias estações, e não só entre centro de despacho e cada uma das estações;
- Possibilidade de acesso remoto ao sistema, incluindo às estações.

Para envio de SMS's existem 4 modems GSM, que podem também ser utilizados para recepção (Figura 4).

A comunicação entre centro de comando e as unidades locais é suportada pelo protocolo IEC60870-5-104. Este protocolo baseado no modelo OSI "Open System Interconnection", foi criado para fazer face às exigências inerentes a instalações de distribuição de energia, tendo vindo a ser implementado gradualmente e com sucesso em instalações de distribuição de água.

Na aplicação do protocolo da IEC, a grande vantagem é que não é necessária uma leitura permanente de dados por parte do sistema SCADA. A transmissão de dados para o sistema de supervisão acontece somente mediante a ocorrência de eventos ou alarmes nas estações minimizando claramente o volume de dados na rede. Apesar disto, se necessário, é possível efetuar interrogações sobre as informações e dados e das instalações a partir do sistema de supervisão.

É importante notar que, devido à forma como o protocolo IEC funciona, é possível não se receber o valor de uma variável durante algum tempo, sem isto significar que a variável não está atualizada (a unidade local só envia a variável se houver uma mudança do valor).

Todos os dados são enviados com *timestamp* (data e hora). No caso de uma falha de comunicação, os dados são guardados num *buffer* na unidade local e descarregados para a supervisão quando a comunicação é retomada. Uma vez que estes dados são enviados com *timestamp*, eles são inseridos na base de dados na ordem correta, não havendo por isso perda de dados no caso de falhas de comunicação.

3.5. Exemplos de sinópticos

A Figura 9 apresenta o sinóptico principal da aplicação SCADA. Apresenta uma vista geral da rede de rega, com indicação dos vários canais existentes. Clicando sobre um canal, pode aceder-se à página desse canal.



Figura 9. Sinóptico principal da aplicação SCADA.

A janela principal encontra-se dividida em quatro partes (Figura 9):

- Barra de título** - A barra de título contém o título da página selecionada e a data e hora atual. Clicando com o botão direito do rato sobre o nome do utilizador, é possível aceder às opções do utilizador (iniciar sessão, terminar sessão, encerrar a visualização do SCADA, gestão de utilizadores, etc.).
- Barra de navegação** - A barra de navegação permite navegar entre as várias páginas do SCADA. As janelas que seguem são acessíveis a partir da barra de navegação:
 - Canais Primários – Janela principal;
 - Canais:
 - CGPM – Canal de Gândara, Palma e Marateca;
 - CSC – Canal de Santa Catarina;
 - CGVG – Canal Condutor Geral de Vale do Gaio;
 - CC – Canal da Comporta.
 - Alarmes;
 - Eventos;
 - Gráficos;

- Relatórios;
- Ferramentas;
- Comunicações;
- Sistema.

O botão existente por baixo do ícone “Canais Primários” abre uma lista que permite aceder diretamente a qualquer estação, sem ser necessário navegar através do mapa (Figura 10).



Figura 10. Acesso às Estações do SCADA a partir do sinóptico principal da aplicação.

c) *Barra de informação* - A barra de informação tem indicação permanente de quais os alarmes ocorridos que ainda não foram reconhecidos (a vermelho). Assim que um alarme é reconhecido, deixa de constar desta lista, mantendo-se no entanto na lista de alarmes (passa a verde).

d) *Área principal* - Ao selecionar uma janela, esta é mostrada na área principal da aplicação. É o caso do sinóptico referente à estação do PA2 - N.º das Romeiras, selecionada na janela da Figura 10, e que se apresenta na Figura 11.

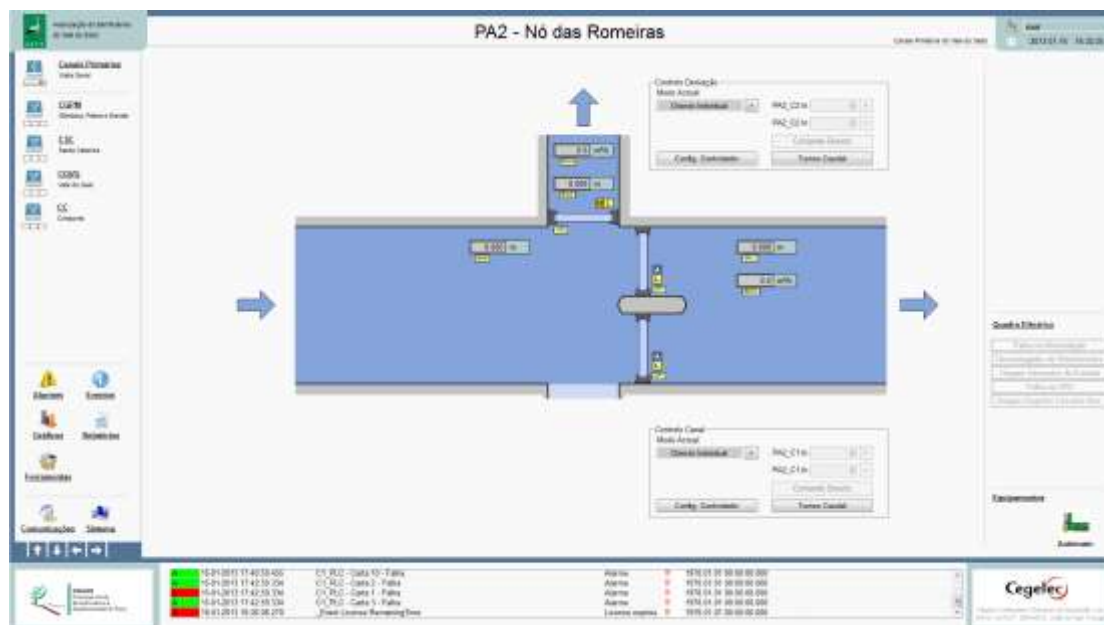


Figura 11. Sinóptico da estação PA2.

Na estação PA2, faz-se o controlo de caudais para o canal CGPM através de duas comportas e para o canal CSC, através de comporta única. É a estação de campo mais importante do SCADA. A Tabela 1 apresenta a monitorização e os controladores instalados.

No sinóptico apresentado na Figura 11, podem ler-se os caudais em cada uma das três comportas, o caudal sobre o descarregador lateral, a posição de cada comporta e as alturas a montante e jusante das comportas. A escolha do controlador para cada comporta é também efectuada no sinóptico.

3.5. Calibração das equações de vazão

As equações de vazão (1) e (2) usadas, respectivamente, para o cálculo dos caudais nas comportas e sobre os descarregadores, foram calibradas (definição do coeficiente de vazão específico para cada caso) usando um molinete. A velocidade média do escoamento em cada caso, foi determinada fazendo, pelo menos, duas medições com molinete em situações de regime permanente.

A título de exemplo, passa a apresentar-se a calibração de campo levada a efeito para a estação de campo PA2 – Nó das Romeiras.

Na Tabela 2, apresentam-se os valores de campo, os calculados e os lidos no autómato da estação PA2:

- Caudais – obtidos por molinete (colunas 11, 12 e 13); lidos no autómato (colunas 4 e 8), programado com o algoritmo de cálculo que tem por base a equação (1); os obtidos usando diretamente o algoritmo de cálculo que tem por base a equação (1) (colunas 5 e 9); por baixo da Tabela 2, apresentam-se os valores de caudal obtidos por um caudalímetro do tipo efeito de Doppler colocado a montante do nó;
- Altura de abertura das comportas dadas pelos respectivos sensores de posição, cujos valores foram lidos no autómato (colunas 3 e 7; as duas comportas do canal CGPM foram, previamente sincronizadas, apresentando, sempre, igual altura de abertura);
- Alturas de água referidas às soleiras das comportas, dadas pelos sensores do tipo potenciómetro instalados e cujos valores foram lidos no autómato (colunas 2, 6 e 10).

Face aos valores obtidos e apresentados na Tabela 2, retiraram-se as seguintes conclusões:

- Nos 2º e 3º dias, os caudais lidos no autómato são muito próximos dos obtidos diretamente pelo algoritmo que tem por base a equação (1), o mesmo não acontecendo no 1º dia, tendo-se usado em ambas as situações o valor teórico especificado para o parâmetro C_G (0,60), parâmetro necessário para o cálculo de e_{11} ; em ambos as situações, os valores das alturas de água a jusante das comportas são obtidos em secções situadas na zona dos ressaltos hidráulicos e, por isso, apesar do poço de tranquilização do sensor filtrar as oscilações da superfície livre, estes valores são fortemente influenciados pela agitação da superfície livre, pensando-se que esta será a razão da divergência de resultados para o 1º dia de observações; face ao exposto, não se tiveram em conta os valores do 1º dia na calibração do algoritmo de caudal;

- Tendo em conta os caudais lidos no autómato e os diretamente obtidos pelo algoritmo que tem por base a equação (1), pode concluir-se que o autómato foi adequadamente programado com o algoritmo citado;
- Para o dia 4-07, distribuindo os erros proporcionalmente, os valores de caudal obtido pelo molinete passam a ser, respectivamente, de 4,579 m³/s (valor obtido pelo caudalímetro à saída da B. do Pego do Altar), 1,454 m³/s e 3,125 m³/s, para a secção a montante das comportas, a jusante da comporta do CSC e a jusante das comportas do CGPM;
- Para o dia 15-07, distribuindo os erros proporcionalmente, os valores de caudal obtido pelo molinete passam a ser, respectivamente, de 3,595 m³/s (valor obtido pelo caudalímetro à saída da B. do Pego do Altar), 1,020 m³/s e 2,576 m³/s, para a secção a montante das comportas, a jusante da comporta do CSC e a jusante das comportas do CGPM;
- Para as duas comportas do CGPM, o valor do parâmetro C_G foi corrigido de 0,6 para 0,50, passando o algoritmo de caudal a dar, respectivamente, para os dias 4-07 e 15-07, os resultados de 2,83 m³/s e 2,895 m³/s, valores mais próximos dos obtidos pelo molinete; contudo, as diferenças para os valores obtidos por molinete são ainda significativas e não usuais, o que talvez se deva às condições de campo particulares da instalação; outros valores experimentados davam erros maiores; esta alteração foi realizada na programação do autómato;
- Para a comporta do CSC, o valor do parâmetro C_G foi corrigido de 0,6 para 0,45, passando o algoritmo de caudal a dar, respectivamente, para os dias 4-07 e 15-07, os resultados de 1,383 m³/s e 1,087 m³/s, valores próximos dos obtidos pelo molinete; esta alteração foi realizada na programação do autómato.

Tabela 2 – Caudais e valores dos sensores de posição de comportas e de altura de água na estação PA2 do SCADA.

	Montante comporta	Comportas CGPM				Comporta CSC				Molinete (m³/s)		
Data	Sensor (m)	Sensor comp. (m)	Caudal (m³/s)		Sensor jusante (m)	Sensor comp. (m)	Caudal (m³/s)		Sensor jusante (m)	Montante comportas	Jusante Comporta CSC	Jusante comportas CGPM
(1)	(2)	(3)	Auto. (4)	Eq. [1] (5)	(6)	(7)	Auto. (8)	Eq. [1] (9)	(10)	(11)	(12)	(13)
28-06-2013	2,035	0,683	3,30	2,95	1,97	0,449	1,79	1,664	1,25	4,431	1,593	2,828
04-07-2013	2,021	0,673	3,30	3,392	1,93	0,482	1,75	1,837	1,25	4,356	1,314	2,435
15-07-2013	2,042	0,557	3,56	3,478	1,91	0,369	1,434	1,448	1,261	3,116	0,818	2,064

Largura útil das comportas – CGPM – 2,45 m cada uma; CSC – 2,45 m

OBS 1: Ressalto hidráulico submerso nos dois dias

OBS 2: Caudal à cabeça do CGPL no dia 28-06 (B. Pego do Altar) = 4,665 m³/s

OBS 3: Caudal à cabeça do CGPL no dia 4-07 (B. Pego do Altar) = 4,579 m³/s

OBS 3: Caudal à cabeça do CGPL no dia 15-07 (B. Pego do Altar) = 3,595 m³/s

Tabela 2 – Medição com molinete e cálculo do caudal a montante das comportas da estação PA2.



ESTACAO/CURSO DE AGUA=PA2/GPM montante
 DATA=04.07.13
 HORA DE INICIO=10.00
 HORA DE FIM=10.45
 ESCALA DE INICIO= 2.16
 ESCALA DE FIM= 2.16

FORMULA DO MOLINETE:
 PARA N< .59V=N * .243 + .017
 PARA N>= .59 ...V=N * .26 + .007
 TEMPO DE CONTAGEM= 40 seg.

M.E.

VERT.	DIST. (m)	SONDA (m)	SECCAO (m2)	ROT 0.20 (rot)	ROT 0.80 (rot)	V.MEDIA (m/s)	CAUDAL (m3/s)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.500	0.430	0.110	52.000	52.000	0.345	0.019
2	0.500	0.880	0.330	69.000	69.000	0.455	0.131
3	0.500	1.340	0.560	82.000	74.000	0.514	0.269
4	0.600	2.160	1.050	79.000	101.000	0.592	0.581
5	0.650	2.160	1.400	84.000	104.000	0.618	0.849
6	0.600	2.160	1.300	64.000	102.000	0.546	0.755
7	0.630	2.160	1.360	67.000	91.000	0.520	0.726
8	0.500	1.680	0.960	45.000	84.000	0.426	0.454
9	0.500	1.160	0.710	73.000	73.000	0.481	0.322
10	0.500	0.660	0.450	65.000	65.000	0.429	0.207
11	0.600	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	0.043

ESCALA= 2.16 m
 CAUDAL= 4.356 m3/s
 SECCAO= 8.424 m2
 VELOC. MEDIA= .517 m/s

LARGURA SUPERFICIAL= 6.08 m
 PERIMETRO MOLHADO= 7.921 m
 RAO HIDRAULICO= 1.064 m
 ALTURA MEDIA= 1.386 m

REFERÊNCIAS

ASCE., Unsteady-flow modeling of irrigation canals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Systems*, Vol. 119, nº4, pp. 615-630, 1993.

CE. *Directiva 2000/60/CE*, Jornal oficial das Comunidades Europeias, 1.327/1 – 1.327/72, 2000.

INAGa., *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água. Versão preliminar*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2001.

INAGb., *Plano Nacional da Água*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2001.

Rijo, M., Lógicas de controlo em canais versus métodos de distribuição de água. *Recursos Hídricos* (Lisboa), Vol. 18, nº3, pp. 13-21, 1997.

Rijo, M., Os modernos sistemas de transporte e distribuição de água para rega em canal. *Anais da Universidade de Évora (Évora)*, Vol. 10 e 11, pp.15-53, 2001.

Rijo, M. e Almeida, A.B., Performance of an automatic upstream controlled irrigation system: conveyance efficiencies. *Irrigation and Drainage Systems*, Vol.7, pp.161-172, 1993.

Rijo, M., Honrado, J., Almeida, M. e Arranja, C., Controlo de um canal de rega. Parte I – Definição e apresentação geral. *Recursos Hídricos* (Lisboa), Vol 28, nº2, pp. 5-15, 2007.

Rijo, M., Prado, M. & Paulo, V., Control and Central Monitoring of a Large Scale Multipurpose Water Delivery System. A Case study. In: J. Schaack & S.S. Anderson (eds.), *Transbasin Water Transfers* (Proc. of the USCID Water Management Conference, Denver), USCID, pp. 427-441, 2001.

SOREFAME., *Material de rega - Neyrpic*. Catálogo RL86, Sorefame, Lisboa, 1953.