

ESTUDOS DE RECONVERSÃO DO SISTEMA DE REGA POR ASPERSÃO PARA REGA LOCALIZADA NO PERÍMETRO DO GHARB EM MARROCOS. O CASO DO SECTOR N5.

José HONRADO

Eng.º Agrónomo, MSc, Chefe do Núcleo de Hidráulica Internacional, COBA S.A., Av. 5 de Outubro, 323 1649-011 Lisboa, jh@coba.pt

Manuel VALADAS

Eng.º Agrónomo, MSc, COBA S.A., Av. 5 de Outubro, 323 1649-011 Lisboa, mmv@coba.pt

Abdelaziz EL BAYED

Engº Agrónomo, Chefe do Núcleo de Aproveitamentos Hidroagrícolas e Hidroeléctricos, CID - Conseil, Ingénierie et Développement, Charia Mâa Al Aïnime, Secteur 22, Hay Riad B.P. 1340 R.P., Rabat, Maroc, aelbayed@cid.ma

Amine CHBANI

Engº Agrónomo, CID - Conseil, Ingénierie et Développement, Charia Mâa Al Aïnime, Secteur 22, Hay Riad B.P. 1340 R.P., Rabat, Maroc, chbani.amine@yahoo.fr

RESUMO

O estudo para a reconversão de sistemas de rega consistiu na elaboração dos estudos hidráulicos necessários para avaliar o desempenho das redes de rega existentes no perímetro do Gharb em Marrocos, no âmbito da reconversão do actual sistema de rega por aspersão para o sistema de rega localizada. Para além de se avaliar o desempenho da rede de distribuição de água para rega, efectuou-se em paralelo, o estudo da estação elevatória, onde se avaliou a necessária alteração do sistema de regulação, passando de uma regulação clássica efectuada a partir de um reservatório elevado, para uma solução do tipo mano-debitimétrica, com grupos de velocidade variável. A opção por esta solução de regulação associada à redução da pressão mínima a fornecer nas bocas de rega, por via da alteração para o sistema de rega localizada, resulta num ganho energético considerável, para além de melhorar significativamente as actuais condições de qualidade de serviço no fornecimento de água aos agricultores.

Palavras-chave

Perímetro do Gharb, sistema de rega, COPAM, desempenho hidráulico, rede de distribuição, estação elevatória, curvas características.

1 INTRODUÇÃO

Tendo em consideração os problemas de escassez de recursos hídricos em época de estiagem cada vez mais frequentes e os problemas de qualidade da água associados, o Ministério da Agricultura de Marrocos tem vindo a promover o uso sustentável da água em regadio, através de iniciativas que visam a prática da rega com uma maior economia de água, como a utilização de métodos de rega adequados àquela finalidade.

Esta política de incentivo envolve a concessão de subsídios financeiros para a instalação de sistemas de rega localizada e para assistência técnica aos agricultores, bem como na definição, selecção e construção de seus sistemas de rega.

No âmbito da política de incentivos à melhoria das técnicas de aplicação de água na parcela, o *Office de Mise en Valeur Agricole du Gharb* (ORMVAG - Entidade responsável pelo desenvolvimento agrícola regional na zona do Gharb), contratou ao Consórcio constituído pela COBA e o CID, a elaboração dos estudos para reconversão dos sistemas de rega por aspersão para rega localizada, no perímetro de rega do Gharb.

O principal objectivo do estudo é a de verificar a possibilidade de reconversão do sistema de rega por aspersão para o sistema de rega localizada, incluindo a melhoria das infra-estruturas existentes, numa área de aproximadamente 20 000 ha.

Neste documento apresentam-se os principais resultados referentes ao estudo desenvolvido para o denominado Sector Nord 5 (N5).

2 CARACTERIZAÇÃO SUMÁRIA DA ZONA DE ESTUDO

2.1 O perímetro do Gharb

A planície Gharb situa-se a noroeste de Marrocos, cobrindo uma área de aproximadamente 616 000 ha, com um potencial de irrigação de 250 000 ha. A área actualmente equipada com grandes regadios colectivos é de cerca de 114 000 ha (vide Figura 1) e o regadio de aproximadamente 86 000 ha é de iniciativa privada, dos quais 16 000 ha estão equipados com sistemas de rega localizada.

A região do Gharb tem uma localização privilegiada e um significativo potencial no que se refere a recursos hídricos (bacia hidrográfica do rio Sebou), clima e solos, o que promoveu um grande desenvolvimento agrícola e agro-industrial. Com cerca de 20% da área potencial para regadio em Marrocos, o perímetro hidroagrícola do Gharb é o maior e mais importante regadio agrícola do país.

A superfície equipada é beneficiada actualmente pelos seguintes métodos de rega:

- | | |
|----------------------------------|------------------|
| • Rega por gravidade - sulcos | 79000 ha (69,3%) |
| • Rega por gravidade - inundação | 12000 ha (10,5%) |
| • Rega por aspersão | 20000 ha (17,6%) |
| • Rega localizada | 3000 ha (2,6%) |

O principal método de rega presente neste perímetro é o de rega por gravidade, presente em cerca de 80% da superfície equipada.

O desenvolvimento deste perímetro de rega exigiu o estabelecimento de circuitos hidráulicos diversificados e de alguma complexidade, consistindo essencialmente em 54 estações elevatórias, rede primária com 133 km de canais, 2 500 km de canais secundários, 350 km de condutas enterradas, 16 500 km de valas de drenagem e 950 km de caminhos rurais.

Os sectores objecto dos estudos de reconversão do sistema de rega perfazem uma área de aproximadamente 20 000 ha. As datas de início de exploração estão indicadas entre parêntesis.

- Sectores N1 (1992), N2 (1992) e N3 (1991), localizados na parte norte da planície do Gharb, fazem parte da segunda tranche de irrigação (STI);
- Sectores N4 (1991) e N5 (1997), situados na margem direita do rio Sebou, fazem parte da zona norte de menor serviço da STI;
- Sector P7 (1977) da primeira tranche de irrigação (PTI) do perímetro do Gharb, situada na margem direita do rio Beht a cerca de 50 km a noroeste da cidade de Kénitra ; e
- Sectores C2 (1982) e C3 (1982) da STI, situados na margem direita do rio Sebou a cerca de 70 km a norte da cidade de Kénitra.

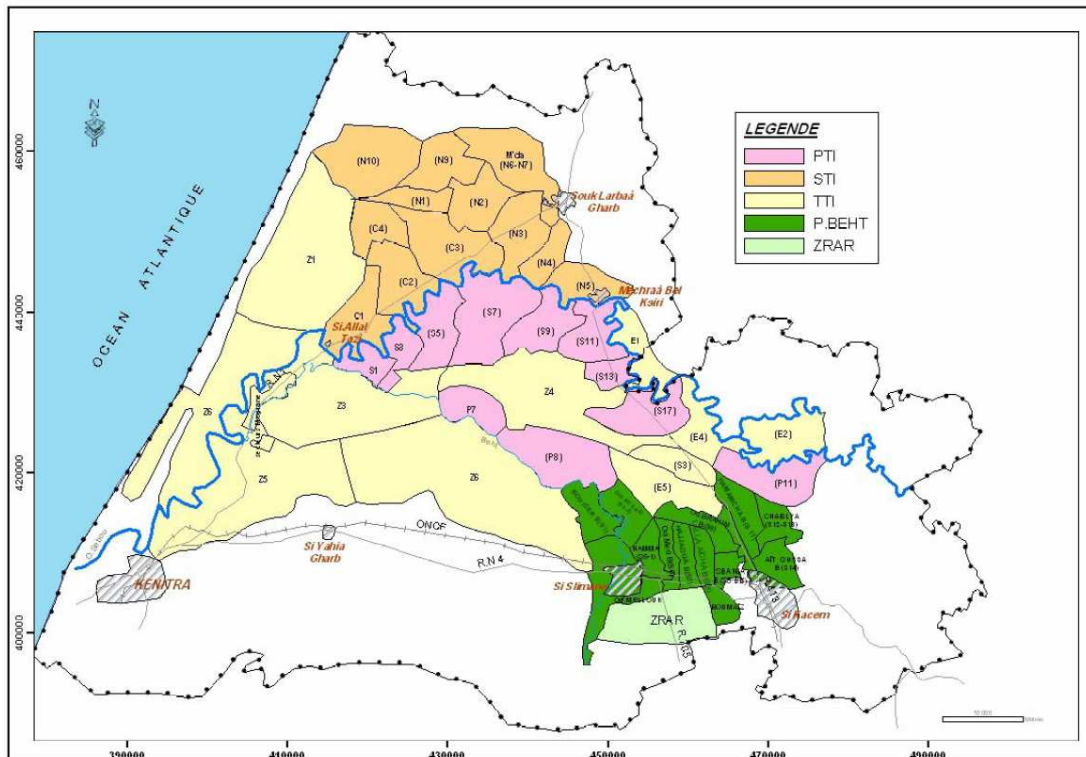


Figura 1 – Localização do perímetro de rega do Gharb.

2.2 O Sector Nord 5

O sector Nord 5 (N5) pertence à segunda fase de implantação do perímetro de rega, situa-se na comunidade de Mechra belsiri, na margem direita do rio Sebou a cerca de 70 km de cidade de Kenitra e é atravessado pela linha férrea e pela estrada RP N°6 segundo o eixo norte - sul.

A superfície equipada do sector N5 tem cerca de 2 440 ha. Este sector compreende 202 unidades de rega com superfícies entre 0,95 ha e 16,85 ha. A superfície média da unidade de rega é de 10,20 ha.

Na Figura 2 apresenta-se, sobre imagem satélite, a delimitação do sector N5. Na Figura 3 é apresentado o esquema do circuito hidráulico.

A origem de água deste sector é o rio Sebou. A água é captada neste rio, através de uma estação elevatória (SPN), que bombeia uma caudal de $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a rede primária de adução, que se desenvolve em canal de secção trapezoidal. A derivação para o sector N5, localiza-se a cerca de 3 km da origem da rede primária. Nesta derivação existe uma estação elevatória (SMP N5), implantada sensivelmente à cota (13,0), que bombeia um caudal máximo de cerca de

$1,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, para um reservatório elevado, construído em betão, com o nível mínimo de exploração à cota (88,0), localizado a cerca de 2,26 km da estação elevatória.

A rede secundária de rega tem origem neste reservatório elevado, possuindo um desenvolvimento total de 51,7 km em condutas enterradas de betão e fibrocimento, com diâmetros entre DN 1100 mm e DN 100 mm. A ligação entre a Estação SMP N5 e o reservatório é feita em conduta com diâmetros DN 1200 mm e DN 1100 mm, com um desenvolvimento total de cerca de 2,26 km.

A estação elevatória existente (SMP N5) tem capacidade para elevar um caudal máximo de 1775 l s^{-1} com uma altura manométrica total de 80,5 m, sendo constituída por três grupos electrobomba principais e dois grupos electrobomba auxiliares. Os grupos principais têm um caudal nominal de 425 l s^{-1} e uma potência de 560 kW. Os grupos auxiliares têm um caudal nominal de 250 l s^{-1} e uma potência de 335 kW. São grupos de eixo vertical, com bomba multicelular tipo centrífuga.



Figura 2 – Delimitação do sector N5 (Fonte: Imagem retirada do Google Earth).

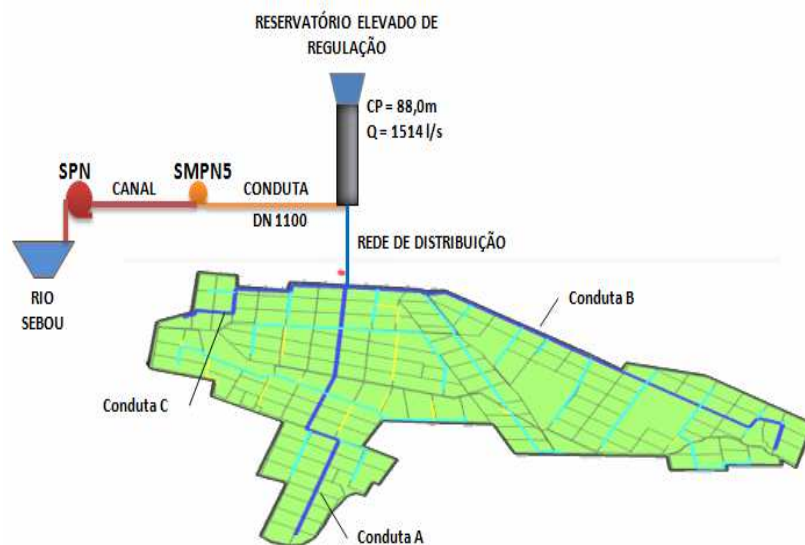


Figura 3 – Esquema hidráulico actual do sector N5.

3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE ESTUDO

Os estudos iniciaram-se com a elaboração de um diagnóstico físico das redes de rega, onde se avaliou o estado actual de todas as infra-estruturas, ao nível do equipamento e da construção civil, onde se inclui a estação elevatória, reservatório elevado e os vários equipamentos que constituem a rede de rega, nomeadamente, hidrantes, câmaras de válvulas, válvulas de seccionamento, ventosas e descargas de fundo.

Após a elaboração do diagnóstico físico, procedeu-se à elaboração do diagnóstico ao funcionamento do sistema hidráulico.

Numa primeira fase, para elaboração do diagnóstico hidráulico foram considerados duas situações: a situação definida em projecto e a situação actual, na qual foi considerado o aumento da rugosidade nas condutas, devido ao seu envelhecimento (LENCASTRE, 1996).

Numa segunda fase dos estudos, e partindo da situação actual da rede de rega, procedeu-se à análise do desempenho hidráulico do sistema, tendo sido definidos dois cenários base:

- Cenário A – Rede de rega a funcionar com as condições mínimas necessárias para utilização do método de rega por aspersão;
- Cenário B – Rede de rega a funcionar com as condições mínimas necessárias para utilização do método de rega localizada, com a instalação de uma estação de filtração no início do sistema;

Para ambos os cenários foram estudadas duas hipóteses:

- Hipótese 1) – Manutenção da rede existente;
- Hipótese 2) – Reforço dos diâmetros das condutas de rede rega

Foram estudados 2 cenários principais (A e B). Para o cenário B foi também elaborada uma avaliação com duas opções para a instalação do sistema de filtração, numa primeira alternativa, estudou-se a hipótese de se instalarem filtros a jusante dos hidrantes, numa segunda, a instalação de uma estação de filtração no início do sistema, a jusante da estação elevatória. Por razões técnico-económicas, a segunda alternativa revelou-se mais viável.

4 METODOLOGIA ADOPTADA PARA ELABORAÇÃO DO ESTUDO

4.1 Elementos de base

Para o desenvolvimento dos estudos, recorreu-se aos elementos base disponíveis no projecto de execução desenvolvido para o perímetro do Gharb, pela empresa BRL em 1976.

Recolheram-se todos os elementos que deram origem à obra existente, desde dotações das culturas, horários de rega, caudais, pressões de serviço e principais características da rede de rega, do reservatório elevado e da estação elevatória.

4.2 Caudais de dimensionamento

A ocupação cultural considerada foi definida tendo em consideração o que foi definido no projecto inicial, o que actualmente é praticado e as previsões definidas no chamado “Plano Verde de Marrocos”. A ocupação cultural resultante é constituída por cana do açúcar (50%) e uma rotação quadrienal (50%).

As dotações brutas no início da rede de rega em mês de ponta são de 2638 m³ ha⁻¹ para a rega por aspersão (eficiência global de 0,81) e de 2491 m³ ha⁻¹ para a rega localizada (eficiência global de 0,86). Os caudais fictícios contínuos são de 0,985 l s⁻¹ e 0,930 l s⁻¹ respectivamente.

No caso de redes de rega com modo de distribuição a pedido, os caudais de dimensionamento são calculados a partir da 1ª fórmula de Clément (CLÉMENT, 1966).

Na distribuição a pedido não se impõem restrições na frequência e na duração da rega. Apenas o caudal é limitado ao valor do caudal nominal da boca de rega e, o caudal atribuído a uma tomada de água é função do caudal específico contínuo, da área regada, do sistema de rega e do número de agricultores. De modo a garantir uma certa flexibilidade aos regantes na gestão da rega, o valor do caudal atribuído deverá ser sempre maior que o valor do caudal específico contínuo.

Na definição dos critérios para aplicação da 1ª fórmula de Clément, verificou-se que no projecto desenvolvido pela BRL, foi considerado que o coeficiente de utilização da rede de rega (r) tinha o valor de 1, correspondendo a um horário de rega de 24h por dia. Este valor é adequado para sistemas de rega de cobertura total (BÉTHERY *et al.*, 1981), mas acarreta condicionantes importantes para a prática da rega, pois o grau de liberdade oferecido é muito reduzido.

Neste estudo considerou-se que, para o cenário A de rega por aspersão, se mantinha o valor de $r = 1$, de modo a que os resultados se aproximassem o mais possível do cenário existente actualmente. No caso do cenário B de rega localizada, reduziu-se o valor de r para 0,917 (correspondente a um horário de rega de 22h/dia).

4.3 Pressão de serviço

As pressões mínimas a garantir nos hidrantes dependerão do tipo de sistema de rega que for adoptado na parcela.

No caso de rega por aspersão, mantivemos o valor definido no projecto inicial e que corresponde a 53 m no hidrante (montante). Se for adoptada a implantação de sistemas de rega localizada, com a instalação de uma estação de filtração adequada ao funcionamento deste sistemas, no início da rede de rega, então a pressão mínima a garantir no hidrante, desce para 28 m.

4.4 Cota piezométrica no início do sistema

A cota piezométrica no início do sistema está dependente do cenário em estudo. Para o cenário A com rega por aspersão, a cota piezométrica no início da rede de rega está directamente associada ao nível mínimo de exploração do reservatório, cuja cota é (88,0).

No cenário B, a cota piezométrica no início da rede de rega vai baixar em relação ao cenário A, porque a pressão mínima a garantir nos hidrantes também é inferior. Neste cenário, a cota piezométrica poderá reduzir-se mais, em função da opção ou não de reforçar os diâmetros de alguns troços mais críticos da rede de rega.

Na opção de proceder ao reforço dos diâmetros da rede de distribuição, e pelo facto de se tratar de um sistema que inclui bombeamento, a atribuição dos diâmetros às condutas justifica considerar os custos inerentes devido à influência no valor da altura manométrica de elevação. No entanto, os encargos de instalação e exploração variam em sentido inverso: uma redução do valor da altura manométrica de elevação conduz, por um lado a um aumento dos diâmetros das condutas, e em consequência a um aumento dos custos de investimento com a rede de rega; e por outro lado, a uma redução dos custos de investimento associado à estação elevatória assim como dos encargos anuais com a energia.

4.5 Análise do desempenho hidráulico

4.5.1 Regimes de caudal

A análise do desempenho do sistema hidráulico (estação elevatória e rede de rega) é função do modo de distribuição, dos caudais atribuídos às bocas de rega, da posição altimétrica da origem de água face às zonas a beneficiar, e deve ter em consideração a capacidade de transporte de determinados caudais que conduzam a uma solução global equilibrada, quer em termos de eficiência energética, quer do ponto de vista das condições de funcionamento.

Relativamente à análise de desempenho propriamente dita, esta foi efectuada através do cálculo de indicadores que permitam avaliar a qualidade do funcionamento da rede, nomeadamente através do indicador fiabilidade. Este pode ser definido como a probabilidade de um sistema funcionar dentro de limites e contextos pré-estabelecidos durante um determinado período de tempo.

A análise do desempenho hidráulico da rede de rega foi realizada assumindo a condição de múltiplos regimes de caudal.

A noção de múltiplos regimes de caudal (LAMADDALENA, 1997; CALEJO, 2003) é fundamental no dimensionamento e análise de redes de rega em pressão com funcionamento a pedido. Um determinado caudal pedido no início da rede corresponde a muitas combinações de bocas de rega em funcionamento simultâneo. A garantia da pressão mínima em cada boca de rega depende da configuração planimétrica e altimétrica das bocas em funcionamento simultâneo.

Cada configuração corresponde a um determinado regime. No presente estudo, na aplicação dos modelos de cálculo para análise do desempenho hidráulico da rede de rega, solicitou-se a elaboração de 900 configurações.

A análise do desempenho hidráulico de uma rede de rega deve ser feita ao nível do sistema, através da definição das curvas características indexadas, e ao nível do hidrante/boca de rega.

A análise ao nível do sistema foi realizada com recurso ao modelo CURVAS CARACTERÍSTICAS integrado no programa COPAM. A análise ao nível do hidrante/boca de rega é feita com o modelo AKLA, também integrado no programa COPAM (LAMADDALENA e SAGARDOY, 2000).

4.5.2 Curvas características indexadas

O modelo de cálculo “Curvas Características” incluído no programa COPAM tem como objectivo o cálculo das curvas características indexadas.

As curvas características indexadas permitem avaliar o desempenho global da rede, indicando qual a percentagem de configurações que não são satisfeitas para uma determinada condição no início da rede, isto é, para cada par caudal, Q_0 , e cota piezométrica, Z_0 . Não permite no entanto avaliar a gravidade dos défices de pressão nas bocas de rega onde pressão disponível (H_j) é inferior à pressão mínima a garantir (H_{min}). Neste modelo, as perdas de carga, h_L [m], são calculadas através da fórmula geral de Chézy, sendo o coeficiente de rugosidade dado pela expressão de Bazin.

O desempenho hidráulico da rede de rega é considerado satisfatório quando, para todas as bocas de rega em funcionamento simultâneo, se verifica a seguinte condição:

$$H_{j,r} \geq H_{j \min} \quad (1)$$

em que:

$H_{j,r}$ - pressão no hidrante/boca de rega j na configuração r ;

$H_{j\ min}$ - pressão mínima a garantir no hidrante/boca de rega j .

4.5.3 Análise da qualidade de funcionamento da rede de rega

Para a análise da qualidade de funcionamento da rede de rega, utilizou-se o modelo AKLA, integrado no programa COPAM. Este modelo permite fazer uma análise da qualidade de funcionamento da rede ao nível dos hidrantes/bocas de rega e complementa a informação obtida com as curvas características.

O modelo AKLA calcula, para o ponto de funcionamento da rede (Q_0 , Z_0), a pressão de cada hidrante/boca de rega em funcionamento, H_j . Este cálculo é feito para várias configurações de bocas de rega em funcionamento (regimes de caudal). A partir dos valores de H_j , o modelo calcula os seguintes indicadores de desempenho:

- Diferenças Relativa de Pressão:

A diferença relativa de pressão, ΔH_j , é obtido através da seguinte expressão:

$$\Delta H_j = \frac{(H_j - H_{j\ min})}{H_{j\ min}} \quad (2)$$

em que:

H_j - pressão no hidrante/boca de rega j ;

$H_{j\ min}$ - pressão mínima a garantir no hidrante/boca de rega j .

A análise dos resultados obtidos permite observar os limites de funcionamento dos hidrantes/bocas de rega assim como identificar quais são os hidrantes/bocas de rega que apresentam diferenças relativas de pressão negativas.

- Fiabilidade:

O indicador fiabilidade é também calculado para cada hidrante/boca de rega e procura traduzir qual é a probabilidade da pressão no hidrante/boca de rega ser igual ou maior ao valor H_{min} para as condições de funcionamento da rede no período de ponta.

$$\alpha_j = \frac{\sum_{r=1}^C lh_{j,r} lp_{j,r}}{\sum_{r=1}^C lh_{j,r}} \quad (3)$$

em que:

α_j = fiabilidade da boca de rega j ;

$lh_{j,r} = 1$, se a boca de rega j estiver aberta na configuração r ;

$lh_{j,r} = 0$, se a boca de rega j estiver fechada na configuração r ;

$lp_{j,r} = 1$, $lh_{j,r} \geq H_{j\ min}$

$lp_{j,r} = 0$, $lh_{j,r} < H_{j\ min}$;

C – número total de configurações geradas.

No que respeita à análise de funcionamento das bocas de rega, considera-se que para o valor igual à unidade, a boca de rega funciona sempre com uma variação de pressão relativa superior ou igual a 1, ou seja, tem pressão superior à pressão mínima de funcionamento. Valores inferiores à unidade significam que a boca de rega poderá ter, em determinadas configurações de funcionamento da rede de distribuição, défice de pressão.

4.6 Adaptação da estação elevatória

4.6.1 ~Sistema de regulação dos grupos

À semelhança do que foi realizado para a rede de distribuição, o estudo da estação elevatória iniciou-se com a elaboração de um diagnóstico físico, do qual resultou que, de uma forma global os equipamentos se encontram num estado de conservação razoável, verificando-se a necessidade de substituição de alguns equipamentos.

No sistema de regulação existente os arranques e paragens dos grupos são determinados pela detecção do nível de água no reservatório elevado. O reservatório compensa, de uma forma automática, o diferencial de caudal entre o que a rede consome e o que a estação elevatória fornece. Tendo em consideração que com a reconversão dos sistemas de rega a cota piezométrica vai ser significativamente inferior ao nível mínimo do reservatório, esta solução de regulação não é adequada.

Em relação à definição do tipo de regulação, foram analisadas três alternativas: sistema constituído por 5 grupos de velocidade fixa; sistema constituído por 4 grupos de velocidade fixa e um grupo com velocidade variável; 5 grupos de velocidade variável.

Tendo em atenção que a transição do actual cenário com sistemas de rega por aspersão, para o futuro cenário com sistemas de rega localizada, poderá prolongar-se por um período de alguns anos, procurou-se encontrar uma solução de regulação que conseguisse abranger os dois cenários, sendo para tal necessário conceber um sistema suficientemente flexível e robusto.

Devido em grande parte à especificidade deste sistema hidráulico, da análise resultou que a alternativa constituída com 5 grupos de velocidade variável seria a mais adequada, e a única que conseguiria cumprir as condições do cenário A e do cenário B.

4.6.2 Determinação das curvas características do sistema elevatório

A partir das curvas características da rede de rega de cada um dos cenários (A e B), determinaram-se as curvas características para o sistema elevatório, onde se inclui o sistema de filtração, para tal foi necessário proceder à determinação das perdas de carga no circuito hidráulico e ao cálculo da altura manométrica para os dois cenários.

A estação de filtração de água é constituída por 12 filtros de malha com um grau e filtração de 120 mesh. A perda de carga mínima considerada com os filtros limpos é de 2 m, e, com os filtros sujos, não poderá ultrapassar os 7 m (desencadeando-se o processo de lavagem).

Foi caracterizado todo o circuito hidráulico da estação elevatória, estação de filtração e conduta de ligação ao reservatório elevado, tendo-se procedido em seguida à determinação das perdas de carga do sistema elevatório considerando caudais crescentes (1, 2, 3, 4 e 5 grupos em funcionamento – Figura 6).

Nos troços de conduta do circuito hidráulico as perdas de carga contínuas foram determinadas pela fórmula de Manning-Strickler, considerando um coeficiente K_s de $90 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (aço). As perdas de carga localizadas (ΔH) foram calculadas a partir da seguinte expressão:

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

em que:

K – coeficiente de perda de carga (ad.);
V – Velocidade média de escoamento (m/s);
g – aceleração da gravidade (m/s²).

Os coeficientes de perda de carga, K, foram determinados em função das características das descontinuidades encontradas (intercepções, divergentes, válvulas, etc.).

5 RESULTADOS

5.1 Análise dos caudais de dimensionamento

Como resultado da análise dos caudais máximos definidos actualmente na rede de rega do sector N5, verificou-se que, para os pressupostos actuais (de conferir um maior grau de liberdade ao agricultor para organizar a prática da rega), o caudal no início da rede, com o valor de 1514 l s⁻¹, é insuficiente para regar toda a área prevista, tendo apenas capacidade para regar cerca de 70 % da área. Neste caso, uma das opções poderia ser a redefinição do cenário de ocupação cultural supondo que os agricultores optam por culturas menos exigentes em água, que não foi tomada por acarretar condicionalismos de diversa ordem.

Numa segunda análise, em que se partiu dos caudais instalados nas bocas de rega, aplicou-se a 1.ª fórmula de Clément, com $r = 0,935$ (correspondente a um horário diário de rega de cerca de 22,4 horas), e considerando o sistema de rega por aspersão, obteve-se um caudal substancialmente superior ao definido no projecto inicial. O caudal obtido para o início da rede de rega foi de 2325 l s⁻¹, contra os 1514 l s⁻¹ do projecto inicial, verificando-se um aumento de cerca de 54 %.

Verificou-se também, com um caudal de 2325 l s⁻¹ seria necessário reforçar os diâmetros de alguns troços de condutas da rede de rega, numa extensão de cerca de 17,7 km (34% da extensão total da rede de rega).

Numa terceira e última análise, recorreu-se novamente à aplicação da 1ª fórmula de Clément para determinação do caudal no início da rede de rega para o cenário B com sistemas de rega localizada. O valor de r adoptado foi de 0,917 (correspondente a um horário diário de rega de 22 horas).

Assumindo-se que a rega localizada, em comparação com a rega por aspersão, é mais eficiente, pode ser adoptado um “factor de localização”, reflectindo a redução das necessidades de água, para a generalidade das culturas, em cerca de 20 %. Esta redução do consumo de água tem consequências, que devem ser avaliadas ao nível das classes caudal das bocas de rega e a sua influência no dimensionamento dos troços da rede de rega.

De acordo com as normas internacionais (ASAE, 2003), podemos admitir um factor de localização que corresponde a uma área humedecida de 80 %. Considerando o mesmo caudal equipado nas bocas de rega, e uma duração diária de rega de 22 horas, verifica-se um acréscimo do grau de liberdade associado a cada classe de caudal das bocas de rega. Ou seja, o agricultor vai ter uma maior flexibilidade na operação do seu sistema de rega, pois vai dispor do mesmo caudal na boca de rega, mas para uma área efectivamente humedecida inferior, e ainda associado a um sistema de rega que permite um nível de automatização superior.

O caudal obtido para o início da rede de rega, no cenário B, foi de 1880 l/s. Apesar de ser inferior ao determinado para o cenário A, continua a ser superior, em cerca de 24 % ao apresentado no projecto inicial.

Verifica-se que a rede de rega existente tem capacidade para transportar os caudais determinados para o cenário B, sem necessidade de reforço dos diâmetros das condutas.

5.2 Análise do desempenho hidráulico da rede de distribuição

Neste ponto apresentamos os resultados obtidos para os cenários A e B, considerando a hipótese de manutenção da rede de rega existente (Hipótese 1).

5.2.1 Cenário A – Sistemas de rega por aspersão

Na análise do desempenho hidráulico da rede de rega na situação actual, considerou-se como ponto de funcionamento os seguintes valores $Q_0 = 1514 \text{ l s}^{-1}$; $Z_0 = 88,0 \text{ m}$. A cota piezométrica corresponde ao nível mínimo de exploração no reservatório elevado.

Na obtenção dos resultados do desempenho hidráulico foram geradas 900 configurações de bocas de rega em funcionamento simultâneo para os seguintes valores de caudal pedido no início da rede: 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1514, 1600 e 1800 l s^{-1} .

Na elaboração das primeiras simulações, verificou-se a necessidade de reduzir ligeiramente a pressão mínima a garantir em 3 hidrantes, designadamente nos hidrantes n.º99 ($H_{min} = 52 \text{ m}$), n.º107 ($H_{min} = 50 \text{ m}$) e n.º115 ($H_{min} = 51 \text{ m}$). Nos restantes hidrantes manteve-se $H_{min} = 53 \text{ m}$.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos com os resultados da análise ao desempenho hidráulico da rede de rega a funcionar nas condições actuais.

Da análise das curvas características indexadas, observa-se que o ponto de funcionamento da rede de rega se situa próximo da curva correspondente a 60 % das configurações geradas, o que mostra desde logo que o desempenho hidráulico geral não é muito satisfatório.

No que se refere à análise da diferença relativa de pressão, podemos observar, que de um modo geral, os resultados são satisfatórios, surgindo apenas algumas situações em que este indicador apresenta valores negativos, mas com uma reduzida significância, com um desvio negativo nunca superior a $-0,01$. Desta forma, verifica-se que a maioria das bocas de rega não tem défice de pressão, e que algumas possuem um ligeiro défice.

No terceiro gráfico da Figura 4 podem observar-se os resultados obtidos, no que respeita ao indicador fiabilidade de funcionamento dos hidrantes/bocas de rega. Verifica-se que, a grande maioria das bocas de rega possui valor igual ou próximo de 1,0.

Há um conjunto de 21 hidrantes com fiabilidade inferior a 0,96, que corresponde na maioria a hidrantes terminais, sendo o caso mais crítico o hidrante n.º99, com uma fiabilidade de 0,82. Significa que este hidrante, em 18% do tempo de funcionamento possui défice de pressão.

5.2.2 Cenário B – Sistemas de rega localizada

Na análise do desempenho hidráulico da rede de rega existente, a funcionar para sistemas de rega localizada, considerou-se como ponto de funcionamento os seguintes valores $Q_0 = 1880 \text{ l s}^{-1}$; $Z_0 = 71,0 \text{ m}$.

O valor da cota piézométrica utilizado é determinado para o início da rede rega, junto do reservatório elevado. Este valor foi obtido após a realização de várias simulações de desempenho da rede de rega, tendo-se obtido um ponto de equilíbrio, que permite uma boa performance da rede de rega, tendo em consideração a garantia de uma pressão mínima de 28 m a montante dos hidrantes, e não implicando qualquer reforço de diâmetros de condutas, e ao mesmo tempo reduzir o máximo possível a altura manométrica da estação elevatória.

Não está incluída a perda de carga associada à estação de filtração (deverá ser considerado um valor máximo de 7 m para os filtros sujos). Este valor foi considerado na determinação da altura manométrica da estação elevatória.

À semelhança do que foi considerado para o cenário A, na obtenção dos resultados do desempenho hidráulico foram geradas 900 configurações de bocas de rega em funcionamento

simultâneo para os seguintes valores de caudal pedido no início da rede: 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1800, 1880 e 2000 l s⁻¹.

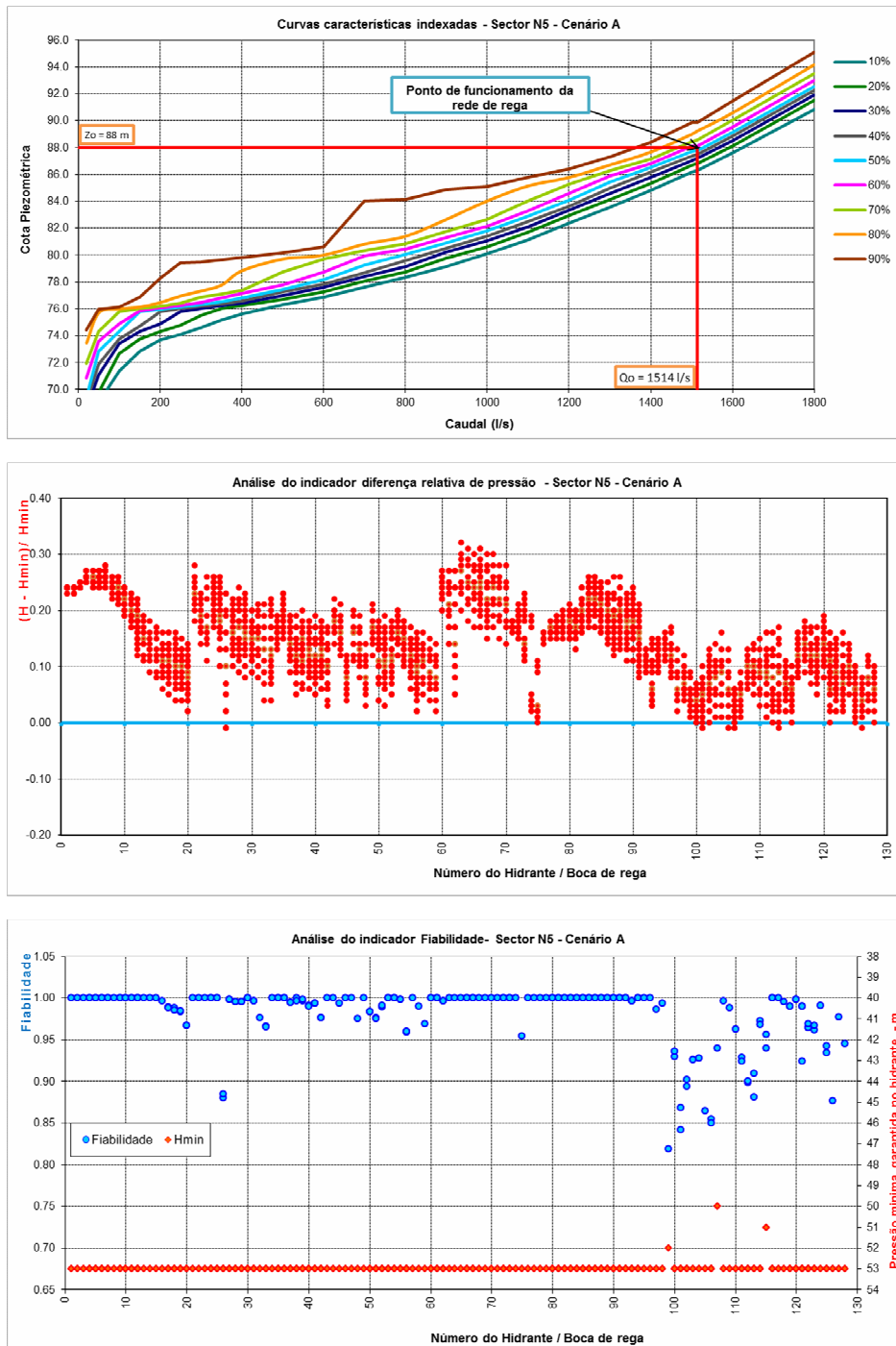


Figura 4 – Análise do desempenho hidráulico da rede de rega do sector N5 – Cenário A.

Apresentam-se na Figura 5 os gráficos com os resultados da análise ao desempenho hidráulico da rede de rega do sector N5, com a reconversão para sistemas de rega localizada.

Da análise das curvas características indexadas, observa-se que o ponto de funcionamento da rede de rega se situa próximo da curva correspondente a 80% das configurações geradas, podendo ser considerado que o desempenho hidráulico global da rede é satisfatório.

Em relação à análise da diferença relativa de pressão, podemos observar, que de um modo geral, os resultados são muito satisfatórios, com desvios a variar entre -0,01 0,78. Desta forma, verifica-se que a maioria das bocas de rega não tem défice de pressão, e que algumas possuem um ligeiro défice, com muito pouco significado.

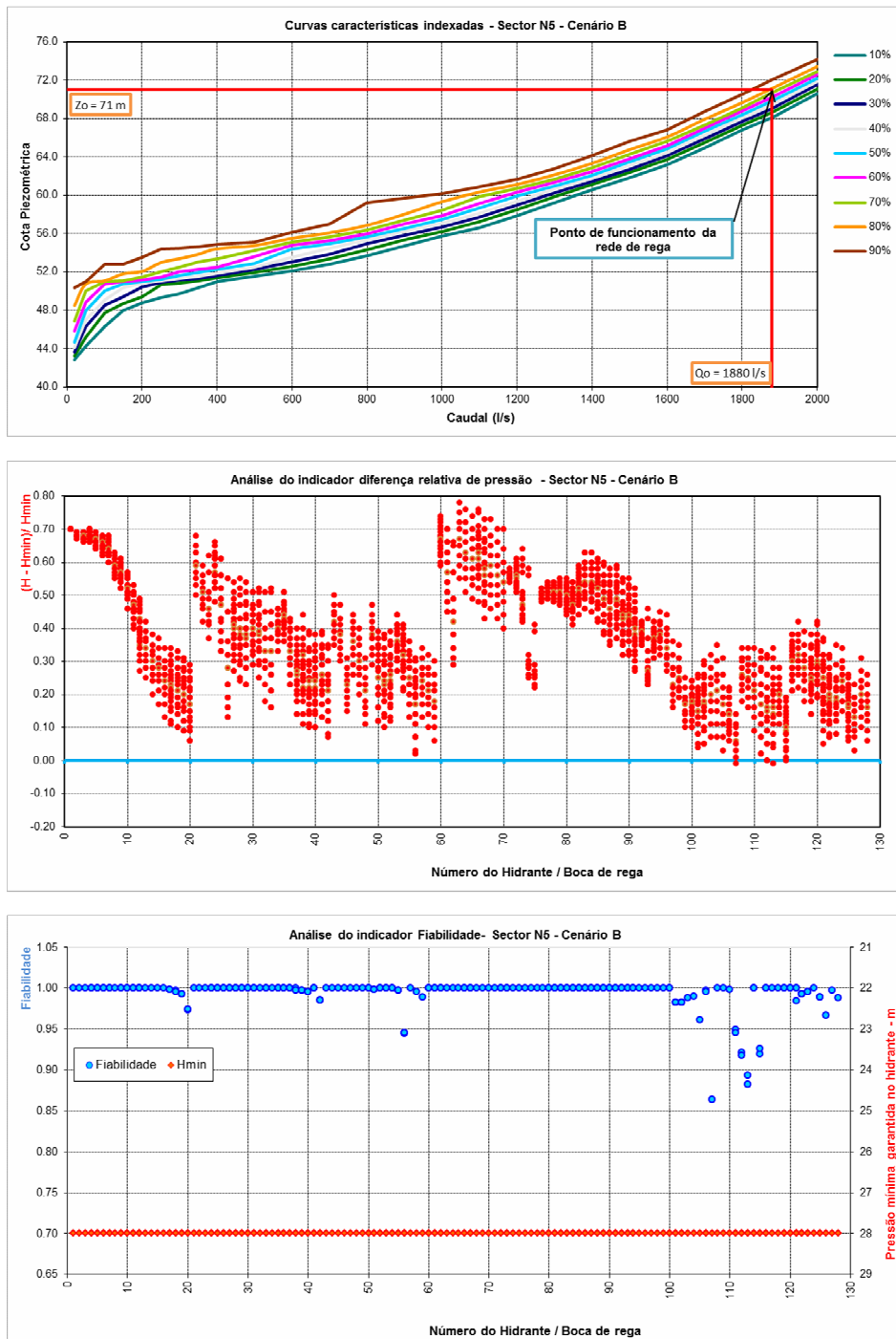


Figura 5 – Análise do desempenho hidráulico da rede de rega do sector N5 – Cenário B.

No terceiro gráfico da Figura 5 podem observar-se os resultados obtidos, no que respeita ao indicador fiabilidade de funcionamento dos hidrantes/bocas de rega. Verifica-se que, a grande maioria das bocas de rega possui valor igual ou próximo de 1,0.

Existe apenas um conjunto de 7 hidrantes terminais com fiabilidade inferior a 0,96. O caso mais crítico é o hidrante n.º107, com uma fiabilidade de 0,86. Significa que este hidrante, em 14% do tempo de funcionamento possui défice de pressão, mas que não deverá ser muito significativo, tendo em conta os valores obtidos no indicador do défice relativo de pressão.

De um modo geral, podemos observar uma melhoria da qualidade do funcionamento da rede de rega, com a reconversão para sistemas de rega localizada, verificando-se ainda um ganho energético considerável, resultante da redução da cota piezométrica.

5.3 Estação elevatória SMP N5

Tal como já foi referido anteriormente, a solução de regulação do tipo mano-debitimétrica revelou-se como sendo a mais adequada para o sistema hidráulico em estudo. Optou-se igualmente por equipar a estação elevatória com 5 grupos de velocidade variável e reservatórios hidropneumáticos para regulação e protecção contra os efeitos do regime transitório.

A grande vantagem desta solução de regulação mano-debitimétrica e grupos de velocidade variável, em comparação com as restantes, está associada à significativa economia de energia que se obtém pelo facto de, em cada situação de solicitação da rede, o caudal ser fornecido com a pressão estritamente necessária e não em excesso como as outras soluções estudadas.

Na Figura 6 apresentam-se as curvas características do sistema elevatório associadas às curvas dos grupos electrobombas que se consideraram adequados para este sistema elevatório.

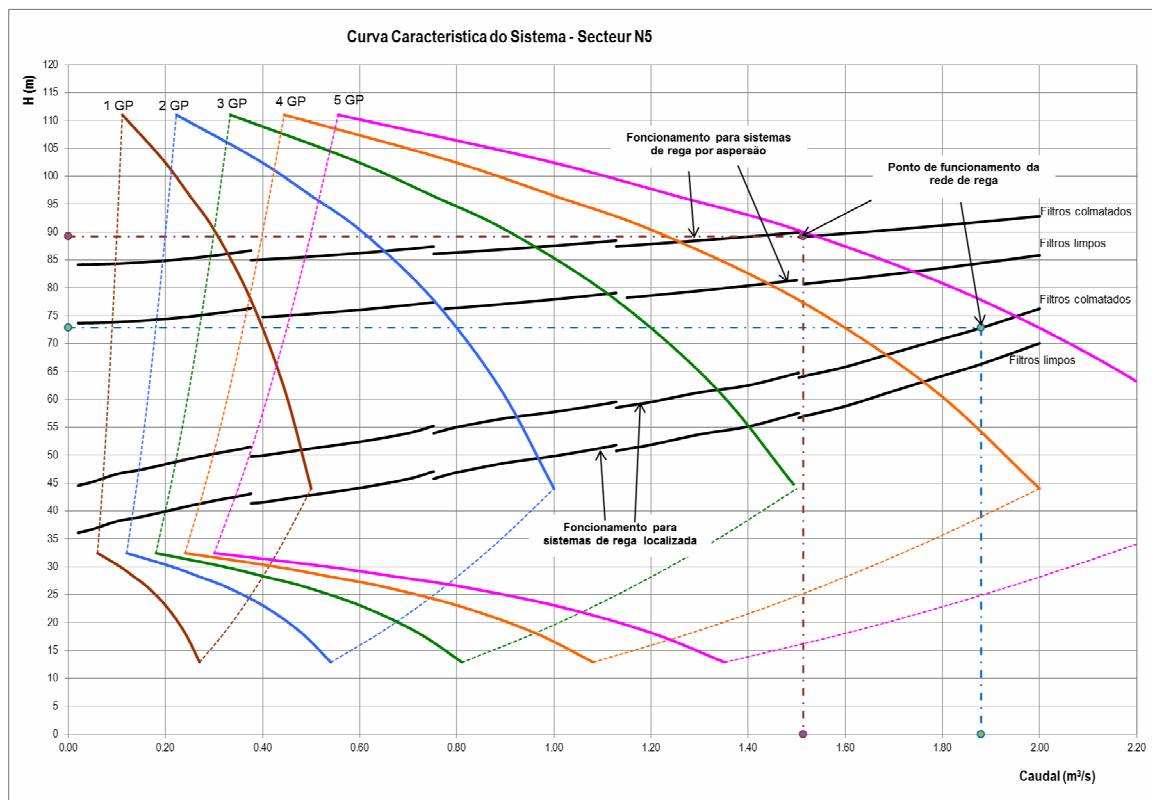


Figura 6 – Curvas características do sistema elevatório.

As curvas características do sistema acima apresentadas representam os diversos regimes de funcionamento previstos:

- As duas curvas superiores constituem as curvas do sistema que permitem assegurar o funcionamento para as condições do cenário A – rega por aspersão:

- A curva superior corresponde à situação de filtros colmatados;
- A curva inferior corresponde à situação de filtros limpos.
- As duas curvas inferiores constituem as curvas do sistema que permitem assegurar o funcionamento para as condições do cenário B – rega localizada:
 - A curva superior corresponde à situação de filtros colmatados;
 - A curva inferior corresponde à situação de filtros limpos.

6 CONCLUSÕES

A avaliação da possibilidade de reconversão da rede de rega do sector N5 do perímetro do Gharb, recorrendo à metodologia proposta pela FAO para o dimensionamento e avaliação de sistemas de rega em pressão, foi efectuada com sucesso.

Os resultados acima apresentados permitiram demonstrar que o processo de reconversão é viável, sem que para tal seja necessário recorrer a alterações na rede de distribuição existente.

Para além do ganho energético obtido com a redução da cota piezométrica no início da rede de distribuição, consegue-se obter uma melhoria da qualidade de serviço fornecido aos agricultores.

Verifica-se também que o desempenho hidráulico da rede existente apresenta melhores indicadores no cenário B de reconversão para sistemas de rega localizada.

A informação obtida com a análise do desempenho hidráulico da rede de distribuição foi essencial para a avaliação, concepção e dimensionamento optimizado da solução de reabilitação/modernização do sistema elevatório, conseguindo-se obter uma solução global flexível, equilibrada e vantajosa em termos de economia de consumo energético, ao ter-se optado por um sistema de regulação mano-debitométrica, com a instalação de 5 grupos electrobomba de velocidade variável associados a 3 reservatórios hidropneumáticos, cada um com com 40 m³ de volume.

7 BIBLIOGRAFIA

- ASAE, (2003). “*Design and installation of microirrigation systems*”. ASAE EP405.1 FEB03. In: ASAE Standards 2003, pp. 900-905.
- Bethery J.; Meunier M.; Puech C. (1981). “*Analyse des défaillances et étude du renforcement des réseaux d’irrigation par aspersion*”. In: Compte rendu du XI congrès de la CIID, question 36, pp. 297-324.
- CID/COBA (2011) “*Étude de la Reconversion du Système d’Irrigation par Aspersion en Irrigation Localisée dans le Périmètre du Gharb*”.
- Calejo M.J. (2003). “*Projecto e Análise do funcionamento de redes de rega em pressão. Modelação da procura. Dois casos de estudo: Lucefecit e Vigia*”. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Clément, R. (1966). “*Calcul des débits dans les réseaux d’irrigation fonctionnant à la demande*”. La Houille Blanche, 5, pp. 553-575.
- Lamaddalena N. (1997). “*Integrated simulation model for design and performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems*”. Tese de doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Lamaddalena N., Sagardoy J.A. (2000). “*Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems*”. Irrigation and Drainage Paper n° 59, FAO, Roma, 132 pp.
- Lencastre, A. (1996). “*Hidráulica Geral*”. LNEC, Lisboa, 651 pp.