

O CUSTO DO CICLO DE VIDA COMO FACTOR DE ECONOMIA

ÍNDICE

1. Introdução	2
2. O que é o Custo do Ciclo de Vida?.....	3
3. Razões para a utilização do CCV	4
4. Determinação do Custo de Ciclo de Vida	6
5. Implementação da metodologia.....	13
o 5.1. - Na fase de projecto	13
o 5.2. – Aplicação a sistemas existentes	15
6. Exemplos de aplicação do “Custo de Ciclo de Vida”	16
6.1 - Sistema de bombagem existente com uma válvula de controlo de caudal. ..	16
6.2 - Escolha do sistema de pressurização na fase de projecto	19
a) Elevar a água para um reservatório superior.	20
b) Instalar uma central hidropneumática de velocidade fixa;.....	20
c) Instalar um sistema sobrepessor com variador de frequência, junto ao reservatório inferior	22
7. Referências bibliográficas.....	25

1. Introdução

Os sistemas de pressurização representam por vezes custos não desprezáveis no mercado da construção para habitação, sendo principalmente onerosos em grande parte dos sistemas industriais. Como qualquer investimento, a escolha dos elementos que constitui o sistema (construção civil, equipamentos, acessórios e os decorrentes da exploração) devem obedecer a considerações de eficácia e economia.

Estima-se que o elevado número de sistemas de bombagem existentes a nível mundial, nas suas mais variadas aplicações (abastecimento público e predial de água potável; colecta, transporte e tratamento de águas residuais; Instalações de rega; Industrial, etc.), consomem cerca de 20% da energia eléctrica global (Europump, 2000).

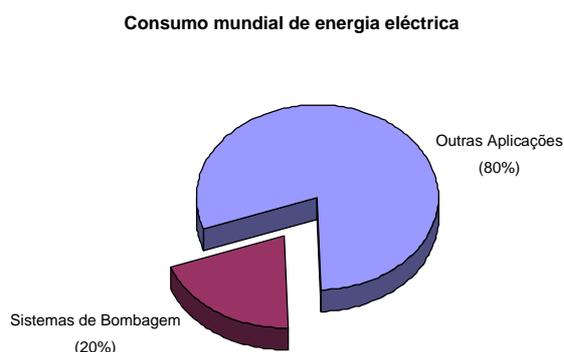


Figura 1 – Consumo mundial de energia eléctrica

Trata-se portanto de um consumo significativo, principalmente numa altura em que a questão energética assume um importante papel na economia nacional, mas também mundial.

A correcta escolha de todos os componentes de um sistema de bombagem apresenta-se assim como uma oportunidade para uma redução nos custos globais da instalação, ao longo da sua vida útil.

A avaliação dos custos do sistema ao longo da sua vida útil, pode ser realizado por várias metodologias.

Um dos grandes objectivos duma metodologia desta natureza deverá ser o rigor e a isenção, pois só assim poderá ser utilizada, não só para optar entre diferentes soluções do mesmo fabricante, mas também servir para comparar soluções de fabricante diferentes.

No presente documento optou-se por seguir a metodologia proposta pelas seguintes entidades:

- *O Instituto Hidráulico (HI)*, fundado em 1917, é a maior associação de produtores e de fornecedores da América do Norte. Estabelece padrões e organiza fóruns para a troca de informações técnicas há mais de 80 anos.
- *O Europump*, estabelecido em 1960, age como porta-voz dos 15 principais fabricantes de bombas e representa mais de 400 fabricantes. O Europump serve e promove a indústria europeia da indústria das bombas hidráulicas.
- *O Departamento de Energia dos Estados Unidos*, promove parcerias com indústrias e grupos de comércio, para a implementação de sistemas de elevada eficiência de energia, energias renováveis, e prevenção da poluição tecnologias para aplicações industriais.

2. O que é o Custo do Ciclo de Vida?

O Custo do Ciclo de Vida (CCV) é uma ferramenta de gestão que pode ajudar a minimizar os desperdícios e a maximizar o rendimento para variados tipos de sistemas, incluindo sistemas de bombeamento. Uma visão global é descrita no artigo “*Pump Life Cycle Costs*” desenvolvido pelo *Hydraulic Institute e Europump* de modo a facilitar a aplicação da metodologia do CCV a sistemas de bombagem.

O custo do ciclo de vida (CCV) de qualquer sistema de pressurização é o custo total durante o seu período de vida útil. Representa assim os custos de aquisição, instalação, ensaios, energéticos, operação, manutenção (preventiva e correctiva), paragens,

ambientais, desmontagem e desmantelamento do equipamento. A identificação de todas as parcelas envolvidas apresenta-se como uma etapa fundamental nesta metodologia. Quando o CCV é utilizado como uma ferramenta de comparação entre diferentes alternativas, o processo de cálculo do CCV indicará, de forma isenta, a solução que apresenta menor custo global, com base nas informações disponíveis.

3. Razões para a utilização do CCV

Os sistemas de pressurização são compostos por um conjunto de obras de construção civil, equipamento eléctrico e electromecânico, tubagens e acessórios. Como exemplo, os grupos electrobomba embora sejam geralmente adquiridas como componentes individuais, eles são parte integrante de um sistema indissociável entre si.

A minimização dos custos globais nem sempre é uma tarefa fácil. Enquanto algumas partes do sistema apresentam praticamente todo o seu custo durante a construção, nos equipamentos electromecânicos o custo de aquisição poderá representar apenas 10% dos custos globais associados a esses equipamentos. O investimento inicial é geralmente uma pequena parte do custo do ciclo de vida para sistemas de pressurização

A energia consumida e os materiais utilizados por um sistema dependem das características da bomba, da instalação e do modo como o sistema irá operar. Adicionalmente todos os componentes do sistema deverão ser cuidadosamente seleccionados para combinarem entre si e manter no global um conjunto fiável assegurando os mais baixos custos energéticos e de manutenção, assim como uma longa durabilidade.

Uma maior compreensão de todos estes pormenores constituirá uma oportunidade para a redução dramática dos custos energéticos, de exploração e de manutenção, factores determinantes no custo de ciclo de vida (CCV) da instalação. A redução e o desperdício energético representam ainda um papel importante em benefícios ambientais.

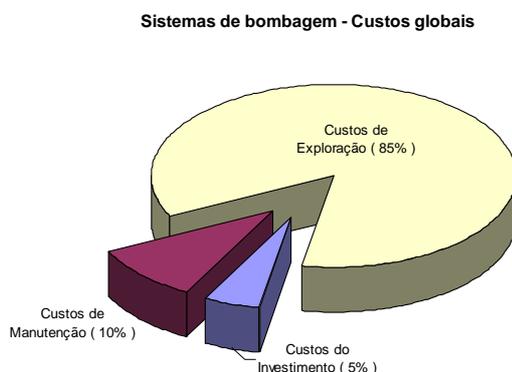


Figura 2 – Repartição dos custos globais em sistemas de bombagem

Muitos sistemas são concebidos considerando apenas o investimento inicial, originando sistemas que apresentam grandes custos de manutenção e exploração. A crescente competitividade dos mercados nacionais e internacionais obriga a um esforço contínuo de modo a aumentar a competitividade. As empresas devem procurar soluções que visem a redução dos custos globais e o aumento dos rendimentos operacionais. A operação, principalmente no sector fabril, continua a merecer uma particular atenção como fonte de poupança de custos, especialmente pela via da minimização dos consumos energéticos e dos tempos de paragem da produção.

Alguns estudos mostram que 30% a 50% da energia consumida pelos actuais sistemas de bombeamento podem ser poupados através da alteração dos controlos dos sistemas (Europump, 2000).

Os sistemas existentes podem contribuir com uma maior fatia na redução da energia consumida através da utilização da metodologia do cálculo do CCV por duas razões: A primeira porque existem pelo menos 20 vezes mais sistemas em operação do que os colocados anualmente em operação e, em segundo lugar porque muitos dos sistemas em operação possuem bombas ou controlos que não estão ajustados às necessidades actuais, talvez motivado pela grande evolução tecnológica verificada nos últimos anos.

Adicionalmente às razões económicas para justificar a utilização da metodologia do CCV, muitas empresas começam a estar cada vez mais sensíveis ao impacto ambiental nos

seus negócios, e consideram o rendimento energético como uma via contribuinte para a redução de emissões de gases e deste modo preservar os recursos naturais.

A análise do CCV, quer em novos empreendimentos quer em remodelações requer sempre uma avaliação de sistemas alternativos. Para a maioria de empreendimentos os custos energéticos e/ou de manutenção dominarão os custos do ciclo de vida. É portanto de extrema importância a forma precisa de determinar os custos energéticos actuais, o escalonamento esperado nos anos vindouros, assim como os custos de mão-de-obra e dos materiais ao longo do ciclo de vida do equipamento. Outros custos como por exemplo os de paragens, desmontagem e desmantelamento final do equipamento e os de origem ambiental, sendo de difícil quantificação, podem muitas das vezes ser estimados com base em dados históricos. Em alguns casos os custos de indisponibilidade podem ser mais significantes que os custos energéticos ou de manutenção. Considerações adicionais deverão ser tomadas em relação às perdas de produtividade devido aos tempos de paragem.

4. Determinação do Custo de Ciclo de Vida

O processo do CCV é um método que permite a comparação de soluções alternativas, em termos de custos. O processo em si é basicamente matemático, mas extremamente dependente da informação disponível, logo os resultados do processo apresentam certamente um grau de fiabilidade similar ao dos dados de base.

Os sistemas de bombagem têm muitas das vezes um período esperado de operação de 15 a 20 anos. A escolha destes equipamentos deve ser efectuada com base em cálculos onde os detalhes do projecto do sistema devem ser tidos em conta. Deste modo a comparação deve ser efectuada entre diferentes tipos de sistema ou de controlo. O exercício deve ser objectivo na análise e âmbito podendo no entanto ser lato nas alternativas analisadas.

Com base nos estudos efectuados em problemas deste tipo, a metodologia proposta apresenta os custos do ciclo de vida, como sendo a soma das seguintes parcelas:

$$CCV = C_{ci} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_{pp} + C_a + C_d \quad (1)$$

onde:

- CCV - Custo do Ciclo de Vida
- C_{ci} - Custos iniciais (custos de construção civil, bombas, tubagens, acessórios, serviços de apoio, etc.)
- C_{in} - Custo de instalação e ensaios (arranque e formação do pessoal)
- C_e - Custos energéticos (operação do sistema incluindo controlos e quaisquer serviços auxiliares)
- C_o - Custos de operação (mão de obra e supervisão normal do sistema)
- C_m - Custos de manutenção e reparação (reparações previstas e de rotina)
- C_{pp} - Custos de paragens (perda de produção)
- C_a - Custos ambientais
- C_d - Custo de desmontagem e desmantelação (incluindo a restauração ambiental do local e serviços de destruição do equipamento)

Os parágrafos seguintes examinam cada uma das parcelas e levantam sugestões para a determinação de cada parâmetro. Dever-se-á ter em atenção que este cálculo não inclui a análise a custos de segunda ordem como por exemplo as matérias-primas consumidas no fabrico de produtos.

Detalhando:

- o **Custos Iniciais**
 - o Este tipo de custos refere-se aos custos necessários para a compra e instalação de equipamentos e obras de construção civil, necessárias ao arranque do sistema. Enquanto que nas restantes parcelas os custos associados a equipamentos electromecânicos são dominantes, neste o seu valor relativo pode vir diluído com o valor da construção civil. Este facto

pode originar a que seja menosprezado a sua importância final nos custos globais.

- É determinante para estes custos o diâmetro das tubagens e acessórios, a qualidade e fiabilidade do sistema seleccionado, os materiais utilizados, o seu comportamento com o fluido bombeado, os empanques instalados, os controlos integrados, etc. Estes detalhes, entre outros, podem originar custos iniciais mais elevados mas reduzirem o CCV de uma forma considerável.
- Os custos iniciais incluem geralmente os seguintes itens:
 - Serviços de Engenharia (estudos, projecto, desenhos, especificações etc.);
 - Processo de aquisição;
 - Construção civil;
 - Inspeção e testes;
 - Peças de reserva;
 - Formação;
 - Equipamentos auxiliares para sistemas de vedação ou arrefecimento.
- **Custos de Instalação e Ensaios**
- Os custos de instalação e ensaios (arranque) incluem os seguintes itens:
 - Fundações (projecto, preparação, betão etc.);
 - Ligações de tubagens de processo;
 - Ligações eléctricas e de instrumentação;
 - Ligações a sistemas auxiliares;
 - Avaliações e regulações no arranque.
- Uma instalação completa dos equipamentos electromecânicos envolve requisitos de operação e manutenção que serão assegurados por pessoal com formação para operar o sistema.
- Os ensaios requerem uma especial atenção às instruções do fabricante para a execução do arranque e operação. Deverá ser seguida a lista de verificações proposta pelo fabricante de modo a assegurar que os

equipamentos e o sistema possam operar dentro de parâmetros específicos.

o **Custos energéticos**

- O consumo energético é frequentemente uma das parcelas com maiores custos e geralmente domina o valor final do CCV, especialmente quando o tempo de operação das bombas ultrapassa as 2000 horas de operação/ano. O consumo energético é calculado através dos dados colhidos no projecto do sistema. Se as solicitações ao sistema são constantes, o cálculo é simples. Se as solicitações são muito variáveis no tempo, então dever-se-á utilizar um registo horário das necessidades para se efectuar o respectivo cálculo.

A fórmula do cálculo da potência requerida é a seguinte:

$$P(kW) = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta_c \times \eta_m} \quad (2)$$

em que:

P – Potência (kW)

γ – Peso específico do líquido (kN/m^3)

Q – Caudal (m^3/s)

H – Altura manométrica ($m.c.a$)

η_c – Rendimento da bomba

η_m – Rendimento do motor

Logo, a energia será:

$$E(kWh) = \int_{t_o}^{t_i} \frac{\gamma \times Q(t) \times H(t)}{\eta_c \times \eta_m} dt \quad (3)$$

- Os custos energéticos de serviços auxiliares também devem ser incluídos. Estes custos podem ser referentes a circuitos de aquecimento ou arrefecimento de fluidos de processo. Nestes casos devem ser incluídos os custos do fluido, filtragem, circulação e/ou dissipação de calor etc.
 - Os métodos de cálculo da energia são relativamente simples quando a bomba é utilizada num único ponto de funcionamento. A situação torna-se mais complexa com bombas em funcionamento paralelo ou se a bomba for utilizada com um conversor de frequência. No funcionamento paralelo, deverão ser efectuados cálculos separados para os vários pontos de funcionamento, aproximando em seguida os volumes bombados ou horas de funcionamento relativos a cada um destes. Uma bomba com conversor de frequência tem um número infinito de pontos de funcionamento. Outro factor de incerteza para o cálculo do consumo de energia de bombas com conversor de frequência é o facto do rendimento geral do sistema ser difícil de calcular com exactidão.
- **Custos de operação**
 - Os custos de operação são os associados à mão-de-obra relacionados com a operação do sistema. Estes podem variar muito dependendo da complexidade e função do sistema. Por exemplo uma bomba instalada em ambientes corrosivos pode requerer verificações diárias, enquanto um sistema semelhante com outro fluido pode apenas necessitar de supervisões limitadas. Uma análise periódica das condições de funcionamento do sistema pode alertar os operadores para eventuais perdas de desempenho do sistema. Os indicadores de desempenho incluem alterações em vibrações, temperaturas, ruído, consumo energético, gamas de caudais, pressão etc.
 - **Custos de manutenção e reparação**
 - O alcance da longevidade esperada para uma bomba, requer uma manutenção regular e eficiente. O fabricante aconselhará a

frequência e a natureza da manutenção periódica. Os custos dependem do tempo e da frequência do serviço, mas também dos custos dos materiais. O projecto pode influenciar estes custos por indicação específica de alguns materiais, selecção dos componentes e mesmo da facilidade de acesso aos componentes a serem intervencionados.

- O programa de manutenção pode ser cumprido com menor frequência mas com maior atenção aos detalhes ou com maior frequência mas com intervenções mais simples. As maiores actividades requerem frequentemente a remoção da bomba do local de instalação para as oficinas. Durante esse tempo a unidade está indisponível podendo haver perda total na produção ou um custo de substituição temporária. Estes custos podem ser minimizados por uma programação cuidada e atempada da paragem.
 - O custo total da manutenção de rotina é o resultado do produto dos custos por intervenção pelo número de intervenções esperadas durante o ciclo de vida da bomba.
 - Embora as avarias não possam ser previstas, podem ser estimadas estatisticamente pelo cálculo do tempo médio entre avarias.
- **Custos de paragens e perdas de produção**
- O custo de paragens imprevisíveis e de perdas de produção são uma parcela muito significativa no valor CCV e pode rivalizar com os custos energéticos ou com os custos de peças de substituição. Na maior parte das vezes os custos de paragem são inaceitáveis por representarem custos superiores à instalação de um equipamento de substituição ou reserva. Se for utilizado um equipamento de reserva, o custo inicial será mais elevado mas os custos de manutenção não programada incluirão apenas os custos da reparação.
 - O custo de perda de produção ou de indisponibilidade podem ser considerados dependente do tempo de paragem e devem ser analisados para cada caso específico.

Custos ambientais.

- O custo da destruição de fluidos contaminantes durante o tempo de vida de um sistema de bombeamento varia bastante dependendo da natureza do produto bombado. Exemplos de contaminação ambiental podem incluir: destruição da caixa do empanque, bombagem de produtos corrosivos, uso de peças contaminadas etc. Os custos de infracção ambiental deverão ser incluídos, sob o risco de representarem externalidades.

Custo de desmontagem e desmantelação

- Na maioria dos casos, o custo da desmantelação de um sistema de bombeamento tem pequenas variações em relação a diferentes concepções. Existem procedimentos legais e regulamentares para líquidos tóxicos, radioactivos ou qualquer outro tipo agressivo. Quando a destruição tem um custo demasiado elevado, o CCV torna-se particularmente sensível á vida útil do equipamento.

o Custos Totais do Ciclo de Vida

- Os custos estimados para as várias depois de somadas permitem uma comparação das diferentes soluções analisadas.
- Existem também factores financeiros a serem tomados em consideração no desenvolvimento do CCV. Estes incluem:
 - o Preços actuais da energia;
 - o Actualização do valor anual da energia;
 - o Taxa de inflação;
 - o Taxa de juros;
 - o Vida útil esperada para o equipamento.

Adicionalmente o utilizador deve decidir quais os custos a incluírem, tais como a manutenção, paragens, ambiental, destruição e outros custos importantes.

5. Implementação da metodologia

o 5.1. - Na fase de projecto

A concepção e o projecto do sistema serão sempre o elemento mais importante na minimização do CCV. O projecto deve considerar a interacção entre a bomba e o resto do sistema e o cálculo do ponto de operação do sistema. As características da tubagem do sistema deve ser calculado a fim determinar o desempenho requerido da bomba. Isto aplica-se quer a sistemas simples quer a sistemas mais complexos.

Será importante analisar a sensibilidade ou adaptabilidade do sistema escolhido a situações diferentes das previstas no projecto. Por exemplo, nos sistemas de distribuição de água doméstica existe a incerteza do crescimento populacional, da sua capitação ou mesmo da taxa de ligação ao longo do tempo. Um sistema mais flexível na exploração pode apresentar uma mais valia acrescida.

Os custos de aquisição e os custos operacionais totalizam o custo total de uma instalação durante sua vida, estando directamente dependentes do diâmetro da tubagem e dos restantes componentes do sistema. Uma quantidade considerável das perdas da energia no sistema é devido às perdas de carga contínua, mas também em singularidades.

O diâmetro da tubagem deve então ser seleccionado com base nos seguintes factores:

- Economia da instalação (bombas e sistemas);
- Utilização de velocidades económicas,
- Considerar um diâmetro interno mínimo quando se transportam líquidos com sólidos;
- Considerar uma velocidade máxima de modo a minimizar a erosão na tubagem e acessórios;
- Considerar diâmetros padrão da tubagem em instalações semelhantes.

Diminuir o diâmetro das tubagens tem os seguintes efeitos:

- diminuem os custos de aquisição de tubagens e acessórios da instalação;

- aumentam os custos da instalação da bomba e de operação em consequência do aumento das perdas de carga, resultando na necessidade de motores com maior potência;
- aumentam os custos de energia eléctrica;
- aumentam os custos de operação em consequência do maior consumo energético devido ao aumento das perdas por atrito.

Analogamente, alguns custos aumentam com o tamanho crescente da tubagem, como por exemplo os de aquisição, mas outros diminuirão. As tubagens devem assim ser dimensionadas por critérios de minimização dos custos globais.

O ponto de funcionamento de um sistema é determinado pela intersecção da curva da instalação e da curva característica do equipamento de pressurização, como mostrado em Figura 3.

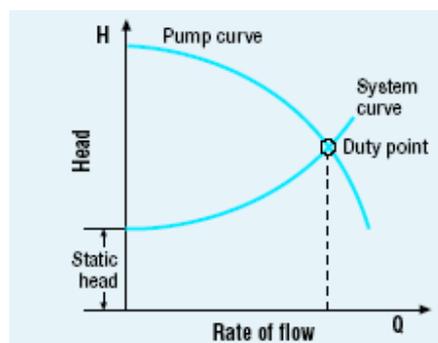


Figura 3. Ponto de funcionamento de um sistema

Um sistema pode necessitar de operar em diversos pontos de funcionamento, no qual o maior caudal ou altura manométrica determinarão a escolha da bomba. Deve ser considerado com atenção a duração prevista para os diferentes pontos de funcionamento de modo a seleccionar correctamente o número das bombas a instalar e o comando e controle. Os longos e fastidiosos cálculos associados ao cálculo das perdas de carga podem hoje, graças à capacidade de processamento, ser substituídos por programas informáticos, facilitando significativamente o processo de cálculo.

○ **5.2. – Aplicação a sistemas existentes**

As seguintes etapas indicam algumas tarefas que podem identificar pontos onde poderá ser possível melhorar um sistema de bombagem existente:

- Montar um inventário completo do sistema de bombagem;
- Determinar os fluxos requeridas para cada carga no sistema;
- Equilibrar o sistema para encontrar os diferentes fluxos e cargas requeridas;
- Avaliar as perdas de carga no sistema;
- Efectuar mudanças à bomba para minimizar a carga no sistema;
- Identificar bombas com custo de manutenção elevado.

Dois métodos podem ser usados na análise de sistemas de bombagem existentes. O primeiro consiste em observar as condições de operação do sistema “in-situ”, e o segundo consiste em executar cálculos usando as equações da mecânica dos fluidos. O primeiro método confia em observações efectuadas no sistema (pressões, pressões diferenciais, e caudais), enquanto que no segundo cria-se um modelo matemático, tão exacto quanto possível do sistema e depois simula-se as pressões e os caudais dentro do modelo. Os dois modelos não são incompatíveis, mas antes completam-se.

Observar o sistema permite ver como o sistema se comporta, mas as exigências operacionais do sistema limitam o âmbito da experimentação. Desenvolvendo um modelo do sistema, podem-se facilmente simular várias alternativas do sistema, mas antes o modelo deve ser validado para segurar que representa exactamente o sistema que se está a estudar. Não obstante o método usado, o objectivo é ficar com uma ideia exacta de como as várias partes do sistema operam e identificar onde as melhorias podem ser feitas e o sistema optimizado.

A seguinte lista de verificação fornece alguns tópicos úteis para reduzir o custo de ciclo de vida de um sistema de bombagem existente:

- Considerar todos os itens com custos relevantes no custo de ciclo de vida;
- Escolher bombas e sistemas novos usando considerações de CCV;
- Optimizar o custo total considerando custos operacionais e custos de aquisição;

- Considerar a duração dos diferentes pontos de funcionamento da bomba;
- Combinar o equipamento às necessidades do sistema para o máximo rendimento;
- Combinar o tipo da bomba à solicitação pretendida;
- Não sobredimensionar a bomba;
- Especificar motores de elevada eficiência;
- Avaliar a eficácia do sistema;
- Monitorizar a bomba e o sistema;
- Considerar a energia desperdiçada em válvulas de controlo;
- Optimizar a manutenção preventiva;
- Seguir as normas do fabricante.

6. Exemplos de aplicação do “Custo de Ciclo de Vida”

6.1 - Sistema de bombagem existente com uma válvula de controlo de caudal.

Neste exemplo, um circuito de bombagem transporta um líquido contendo alguns sólidos de um tanque de armazenamento para um tanque pressurizado. Um permutador de calor aquece o líquido, e uma válvula de controlo regula o caudal no tanque pressurizado a 80 m³/h. Na figura seguinte apresenta-se um esquema simplificado do sistema.

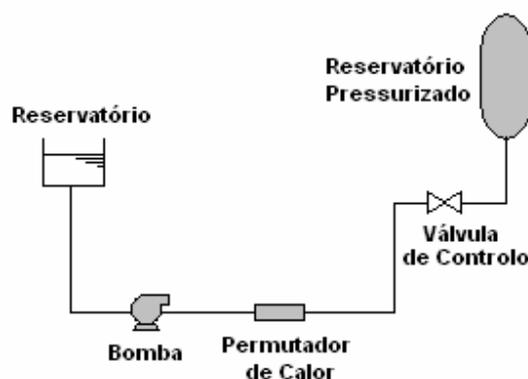


Figura 4 – Sistema de bombagem estudado

O sistema apresenta problemas na válvula de controlo (VC) que falha devido à erosão causada pela cavitação. A válvula tem apresentado avarias a cada 10 a 12 meses com um custo médio de 4 000 EUROS por reparação. Está a ser considerada a substituição da válvula existente por outra que possa resistir à cavitação. Antes da troca da válvula de

controlo, foram consideradas outras opções e executada uma análise de custo do ciclo de vida às soluções alternativas.

De modo a equacionar várias alternativas analisou-se o actual funcionamento do sistema. Verificou-se que a válvula de controlo opera actualmente com uma abertura de 15-20% e com um considerável ruído de cavitação. Parece que a válvula não se encontra correctamente adaptada à instalação. Após a revisão dos cálculos do projecto, descobriu-se que a bomba instalada estava sobredimensionada (110 m³/h em vez de 80 m³/h previstos), originando uma maior perda de pressão através da válvula de controlo do que inicialmente estimado. Em consequência do grande diferencial de pressão, a válvula apresenta danos de cavitação em intervalos regulares, demonstrando que a válvula de instalada não é apropriada para este processo.

As seguintes opções foram estudadas:

- Substituir a válvula de controlo de modo a suportar o grande diferencial de pressão;
- Alterar o impulsor da bomba para reduzir a altura manométrica;
- Instalar um Variador de Frequência (VF), e remover a válvula de controlo;
- Manter o sistema actual, admitindo um reparo anual da válvula.

Na figura 5 são apresentados os pontos de funcionamento associados a cada uma das soluções.

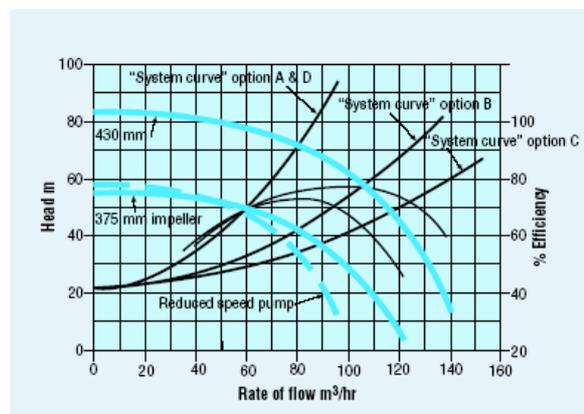


Figura 5. Pontos de funcionamento de cada alternativa estudada.

A substituição da válvula de controlo apresenta um custo de aquisição e instalação de 5000€.

Alterando o diâmetro do impulsor para 375 milímetros, a carga total da bomba é reduzida a 42.0 m e 80 m³/h. Esta perda de pressão reduz a pressão diferencial através da válvula de controle em 10m, aproximando a válvula do ponto para que foi projectada. O custo de energia anual com o impulsor menor é 6 720 € por o ano, aos quais deve ser acrescentado 2 250 € para alterar o impulsor, valor que inclui o custo de desmontar e remontar a bomba.

Um variador de frequência de 30 kW tem um custo de 20 000 €, acrescidos de 1 500 Euros adicionais para a instalação e 500 € anuais para manutenção. Espera-se que não seja necessário nenhuma reparação nos 8 anos seguintes.

Mantendo o sistema inalterado resultará num custo anual de 4 000 € para reparação da válvula.

Na análise de CCV efectuada utilizaram-se os seguintes critérios e suposições:

- O preço de energia actual é actualmente 0.08 €/kWh e a eficiência do motor de 90%;
- O processo é operado em 80 m³/h em 6.000 horas/ano;
- O custo anual para a manutenção periódica das bombas é de 500 € por ano, com um custo da reparação de 2 500 € cada segundo ano;
- Não há nenhum custo de eliminação ambiental associada;
- Este projecto tem uma vida de 8 anos;
- A taxa de juro foi de 8% e uma taxa de inflação de 4% é esperado.

Os cálculos do custo de ciclo de vida para cada uma das quatro opções são resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Custos de Ciclo de Vida (CCV) das várias soluções estudadas

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D
Investimento inicial (€)	5 000	2 250	21 500	0

Custo da energia (€/kW)	0.08	0.08	0.08	0.08
Horas por ano	6 000	6 000	6 000	6 000
Custo de Energia (€)	11 088	6 720	5 568	11 088
Custos de Manutenção (€)	500	500	1 000	500
Custos de Reparação	2 500	2 500	2 500	2 500
Outros custos anuais (€)	-	-	-	4000
Custos Ambientais (€)	-	-	-	-
Custos de desmantelamento	-	-	-	-
Vida útil	8	8	8	8
Taxa de juro (%)	8	8	8	8
Taxa de Inflação (%)	4	4	4	4
Valor de CCV (€)	91 827	59 481	74 313	113 930

A opção B, alterar o impulsor, tem o custo de ciclo de vida mais baixo e apresenta-se como a solução economicamente mais favorável, com base nos pressupostos apresentados.

6.2 - Escolha do sistema de pressurização na fase de projecto

Neste exemplo será analisado o custo do ciclo de vida para diferentes sistemas de pressurização a um edifício de habitação. De modo a simplificar a análise considera-se que o sistema de pressurização será alimentado directamente de um reservatório com nível constante onde a água mantida à pressão atmosférica.

Para garantir a pressão residual mínima, com um caudal de ponta de 6 L/s, a altura manométrica deverá ser de 5.0 Bar.

Foram comparadas as seguintes soluções:

- a) Elevar a água para um reservatório superior, o qual abastecerá graviticamente qual toda a rede doméstica;
- b) Instalar uma central hidropneumática de velocidade fixa;
- c) Instalar uma central hidropneumática de velocidade variável.

a) Elevar a água para um reservatório superior.

Nesta opção, deverá ser instalado um reservatório superior a uma cota que permita uma pressão residual, no aparelho mais desfavorável.

Existe portanto um único ponto de funcionamento como é demonstrado na figura seguinte:

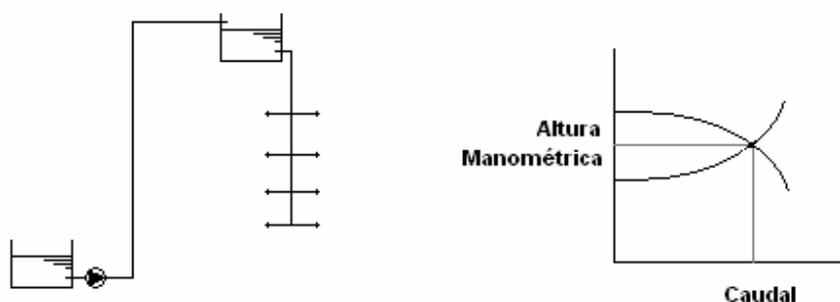


Figura 6

O funcionamento do sistema de pressurização funcionará, por ciclos, em função do volume do reservatório superior. No final de um ciclo (diário, semanal ou mensal) o volume de água elevado será igual ao volume de água consumido.

Para este sistema optou-se pela instalação de duas bombas do tipo “CR 20-5”, cujas parcelas de CCV são apresentadas na tabela 2. Considerou-se um período diário de bombagem de 8 horas.

b) Instalar uma central hidropneumática de velocidade fixa;

Nesta solução, a pressurização será realizada por ciclos, entre a pressão máxima e mínima (estabelecida em função do caudal provável e a pressão residual no aparelho mais desfavorável). Consequentemente o caudal na rede variará entre os valores estabelecidos para arranque e paragem dos grupos.

Neste sistema existe um conjunto de pontos de funcionamento, ao longo da curva característica da bomba. Assim, existe uma variação nos caudais bombados, conforme é apresentado na figura 2.

Optou-se pela instalação de uma central hidropneumática de velocidade fixa do tipo “Hydro 1000” composta por três bombas “CR 10-7”.

Os ciclos de funcionamento estão muito dependentes do consumo dos caudais na rede. Na análise de custos considerou-se um funcionamento de 3300 horas anuais com o seguinte perfil de carga:

Tabela 2 – Perfil de carga considerado

	1	2	3	4	5
Caudal (% Q_p)	100	75	55	35	12
Pressão (% $P_{m\acute{a}x}$)	100	100	100	100	100
Tempo (h)	150	300	450	900	1500

Os valores do CCV são resumidos na tabela 2.

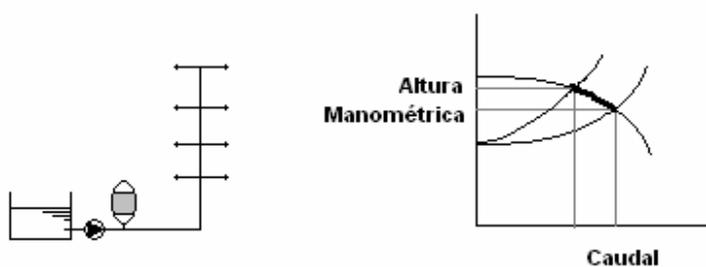


Figura 7 -

c) Instalar um sistema sobrepessor com variador de frequência, junto ao reservatório inferior

Neste sistema, embora de funcionamento mais simples, a análise do sistema é mais complexa uma vez que a bombagem será directamente efectuada para a rede de distribuição, acompanhando portanto as flutuações de caudais verificados nesta.

Nas figuras seguintes são apresentadas as possíveis alterações às curvas características da bomba e da instalação, relativamente às situações anteriores.

Em primeiro lugar, para a mesma altura geométrica, a curva característica da instalação variará por aumento do caudal (Fig 8a).

Por outro lado, existindo por vezes desfazamento entre os consumos dos aparelhos de diferentes pisos, há variação do termo independente do caudal, a altura geométrica), logo a curva característica da instalação varia conforme é demonstrado na figura 8b.

Há ainda a considerar que num sistema desta natureza, a velocidade de rotação da bomba pode variar, logo a curva característica da bomba toma as formas apresentadas na figura 8c.

É assim possível responder a uma grande variabilidade de situações. O sistema de pressurização consegue assim satisfazer um grande número de solicitações ou leis de consumo, dentro dos limites impostos pelo equipamento electromecânico e pela instalação. Na figura 8d é apresentado a gama de pontos de funcionamento admitida por este sistema. Trata-se portanto de um sistema com grande flexibilidade.

Os gastos de energia são mais difíceis de estimar porque a variabilidade real dos caudais também o é. No presente exemplo foi estimado o mesmo perfil de carga definido para o sistema anterior. Trata-se de uma simplificação conservativa uma vez que em muitas situações o consumo de energia será inferior ao simulado.

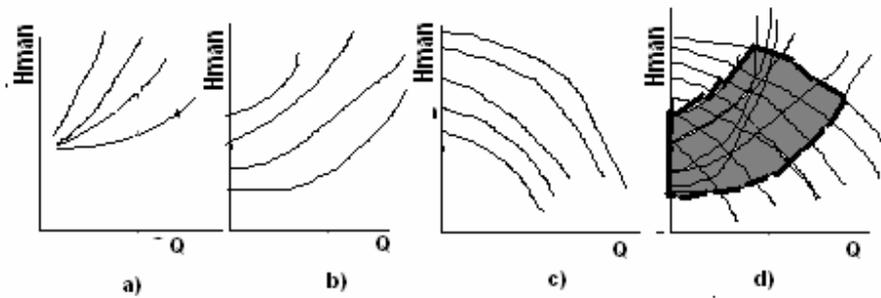


Figura 8 – Curvas características

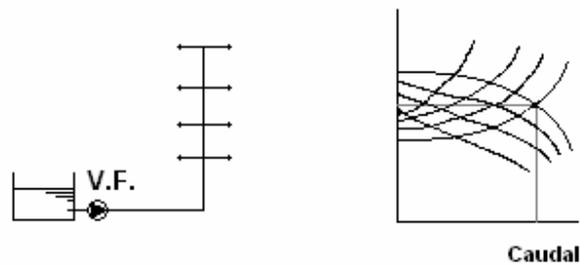


Figura 9 -

Na análise de CCV efectuada utilizaram-se os seguintes critérios e suposições:

- Os custos dos equipamentos electromecânicos são valores médios de mercado
- O preço de energia actual é 0.08 €/kWh e a eficiência do motor de 90%.
- Foi desprezado o custo da energia a diferentes horas do dia.
- O custo anual para a manutenção periódica para bombas é de 500 € por ano, com um custo da reparação de 1 000 € cada segundo ano.
- Não há nenhum custo de eliminação ambiental associada.
- Este projecto tem uma vida de 15 anos.
- A taxa de juro e a taxa de inflação foram consideradas iguais a 3,5%;
- Não foram considerados os custos decorrentes da construção do reservatório superior e o acréscimo estrutural deste no edifício.

Os cálculos do custo de ciclo de vida para cada uma das quatro opções são resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Custos de Ciclo de Vida (CCV) das várias soluções estudadas

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Investimento inicial ^(*)(€)	6 646	6 196	10 406
Custo da energia (€/kW)	0.08	0.08	0.08
Consumo de Energia (kWh/ano)	16 223	11 804	7 136
Custo de Energia (€)	19 468	14 165	8 563
Custos de Manutenção (€)	500	500	1 000
Custos de Reparação (cada 2 anos) (€)	1 000	1 000	1 000
Outros custos anuais (€)	300	-	-
Custos Ambientais (€)	-	-	-
Custos de desmantelamento (€)	-	-	-
Vida útil	15	15	15
Taxa de juro (%)	3,5	3,5	3,5
Taxa de Inflação (%)	3,5	3,5	3,5
Valor de CCV (€)	41 414	35 361	33 969

^(*) Nesta alternativa não foi considerado o custo do reservatório superior e o acréscimo estrutural por incorporação de um reservatório no telhado

Nesta análise, a instalação de uma central hidropneumática de velocidade variável mostra-se como a solução mais flexível e apesar de ser a solução com maior investimento inicial apresenta os menores custos energéticos (menos de metade dos custos da primeira solução) sendo a solução que apresenta o menor valor de CCV.

7. Referências bibliográficas

Europump, Hydraulic Institute, US Department of Energy, "Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems", 2000. (ISBN 1-880952-58-0)

European Commission, "Study on improving the energy efficiency of pumps", February 2001

European Commission – SAVE, "Study on improving the efficiency of pumps", 2001.

Stoffel, B. and Lauer, J., "Theoretically attainable efficiency of centrifugal pumps", VDMA project - Final report, Technical University of Darmstadt, 1994.

Fuller, Sieglinde K., Petersen, Stephen R. "Life-cycle costing manual", Federal Energy Management Program, 1995