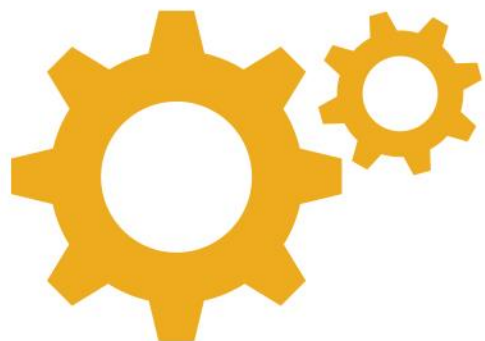




13.º  
Congresso  
da Água  
7, 8 e 9 março de 2016  
LNEC | Lisboa  
Como assegurar  
soluções resilientes  
e sustentáveis?



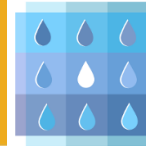
# SUBSTITUIÇÃO DE GRUPOS ELETROBOMBA: ABORDAGEM DETERMINÍSTICA BASEADA EM ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

Exemplo:  
a captação de água em Morgavel.

Nuno LOPES; Rodrigo MARQUES

Manuel LACERDA; Luís GHIRA

Luís MAMOUROS; Nuno BRÔCO



## METODOLOGIA

- Importância do custo do ciclo de vida de um equipamento
- Enquadramento do funcionamento real com os valores de projeto
- Adequação do grupo eletrobomba instalado ao projeto
- Adequação do projeto original à realidade e evolução das necessidades futuras
- Evolução tecnológica dos grupos eletrobomba
- Importância do consumo energético no custo: eficiência mínima admitida

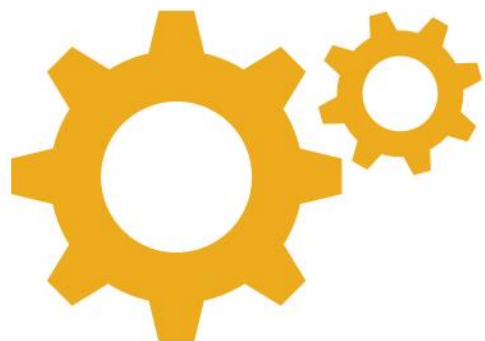
## EXEMPLO: A CAPTAÇÃO DE ÁGUA INDUSTRIAL DA AdSA

- Enquadramento
- Decisão de substituição
- Desenvolvimento
- Resultados esperados
- O projeto desenvolvido
- Conclusões



13.º  
Congresso  
da Água  
7, 8 e 9 março de 2016  
LNEC | Lisboa

Como assegurar  
soluções resilientes  
e sustentáveis?



SUBSTITUIÇÃO DE GRUPOS ELETROBOMBA: ABORDAGEM  
DETERMINÍSTICA BASEADA EM ESTUDOS DE EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA.

Exemplo:  
a captação de água em Morgavel.

**METODOLOGIA**



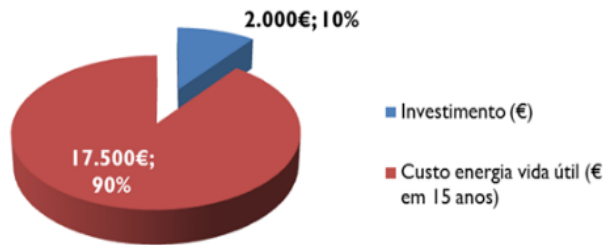
## Substituição de grupos eletrobomba

### Importância do custo do ciclo de vida de um equipamento

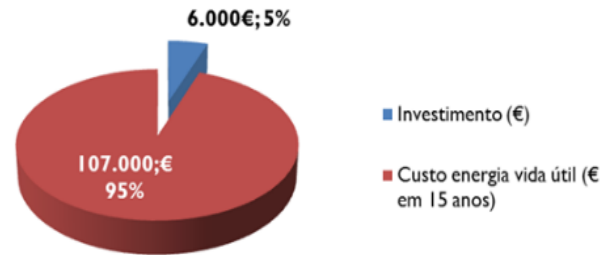
Na aquisição: o custo do equipamento costuma ser o fator de decisão;

Mas, esse custo pode ser inferior a 5% do custo total do ciclo de vida e o custo da energia ser superior a 90%.

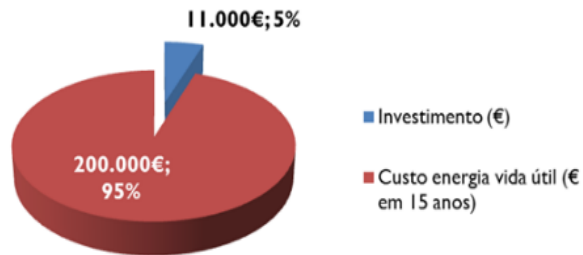
#### Grupos eletrobomba Pabs 4 kW



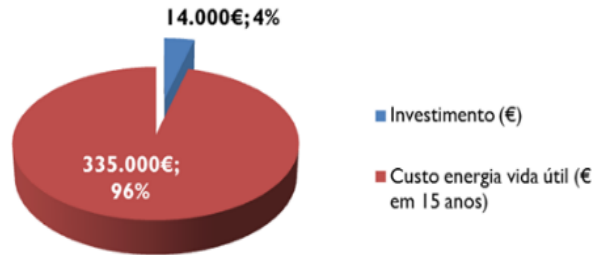
#### Grupos eletrobomba Pabs 20 kW



#### Grupos eletrobomba Pabs 40 kW



#### Grupos eletrobomba Pabs 70 kW



### Substituição tecnológica dos grupos eletrobomba

Grupos têm vindo a oferecer uma grande substituição tecnológica;

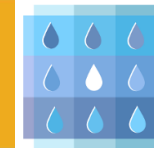
Avanços tecnológicos têm vindo a melhorar a eficiência dos grupos;

Assim, há que avaliar e justificar os investimentos e os ganhos de eficiência.

### Importância do consumo energético no custo: eficiência mínima admitida

Para além do grupo, também o motor deve ser eficiente;

A norma IEC 60034-30 define as classes de eficiência para motores elétricos com potência efetiva PN entre 0,75 e 375 kW e define metas para a sua implementação.



## Substituição de grupos eletrobomba

### Importância do custo do ciclo de vida de um equipamento

Na aquisição: o custo do equipamento costuma ser o fator de decisão;

Mas, esse custo pode ser inferior a 5% do custo total do ciclo de vida e o custo da energia ser superior a 90%.

### Enquadramento do funcionamento real com os valores de projeto

variáveis que caracterizam a procura; e cálculos hidráulicos “simples”;

Problemas com o caudal de funcionamento do grupo instalado;

Menor caudal e/ou maior altura de elevação conduz grupo inadequado.

### Adequação do grupo eletrobomba instalado ao projeto

A especificação do grupo com 1 ponto de funcionamento está correta, mas “peca” por defeito;

1 ponto permite múltiplos grupos, com caudais reais diferentes;

E o rendimento mínimo admitido, foi especificado?

### Adequação do projeto original à realidade e evolução das necessidades futuras

Existem sempre diferenças entre o projeto e o sistema real: caudal, cotas, modo de funcionamento, etc;

Por isso, no momento de substituir deveremos estudar de novo o sistema elevatório e não substituir por grupo idêntico.

### Evolução tecnológica dos grupos eletrobomba

Os grupos têm vindo a sofrer uma grande evolução tecnológica;

Os rendimentos têm vindo a melhorar significativamente;

Por isso, há que estudar e justificar os investimentos e os ganhos de eficiência.

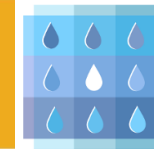
### Importância do consumo energético no custo: eficiência mínima admitida

Para além do grupo, também o motor deve ser eficiente;

A norma IEC 600034-30 define as classes de eficiência para motores elétricos com potência efetiva PN entre 0,75 e 375 kW e define metas para a sua implementação.



# METODOLOGIA



## Substituição de grupos eletrobomba

### Importância do custo do ciclo de vida de um equipamento

Na aquisição: o custo do equipamento costuma ser o fator de decisão;

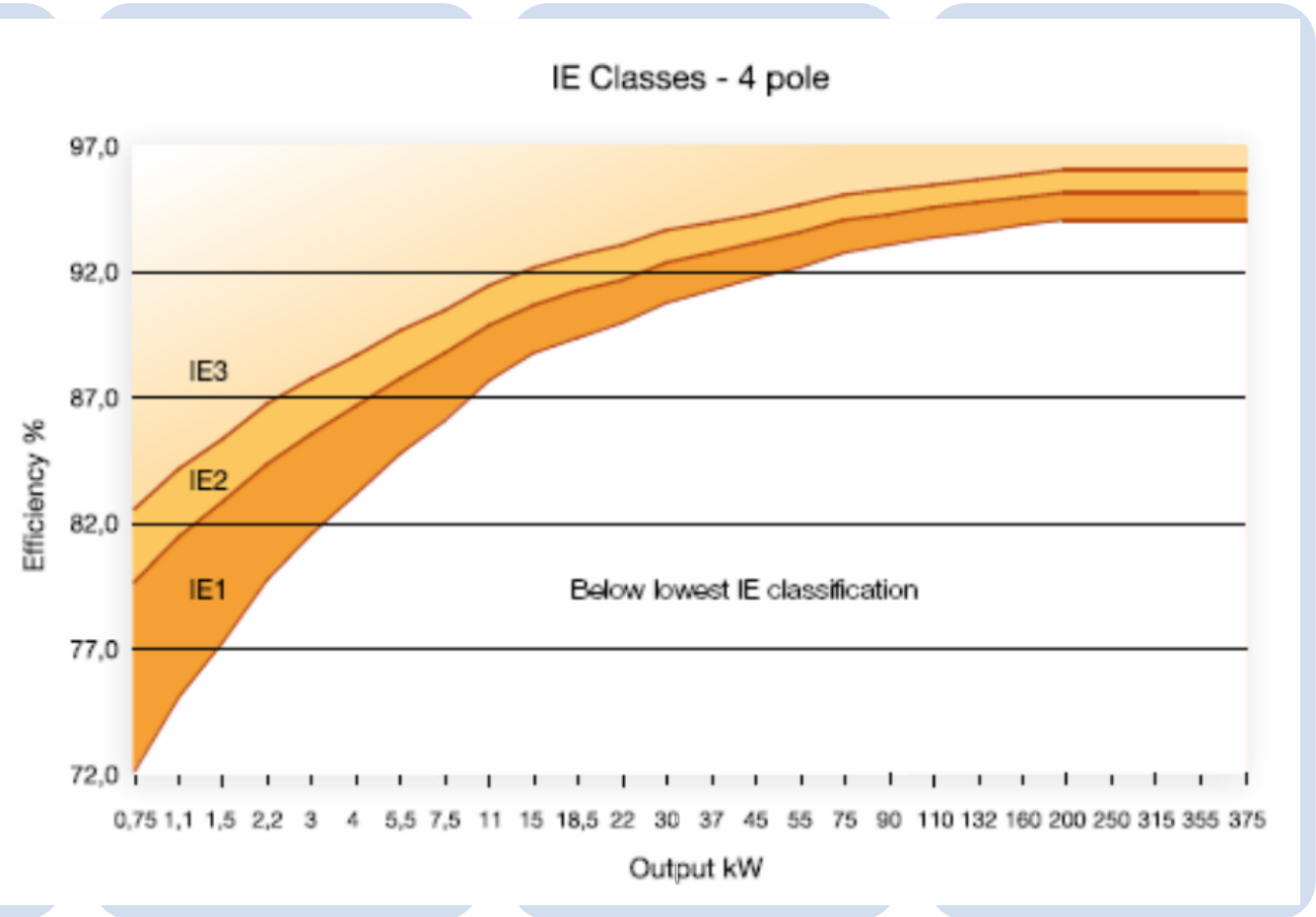
Mas, esse custo pode ser inferior a 5% do custo total do ciclo de vida e o custo da energia ser superior a 90%.

### Enquadramento do funcionamento real com os valores de projeto

variáveis que caracterizam a procura; e cálculos hidráulicos "simples";

Problemas com o caudal de funcionamento do grupo instalado;

Menor caudal e/ou maior altura de elevação conduz grupo inadequado.



### Importância do consumo energético no custo: eficiência mínima admitida

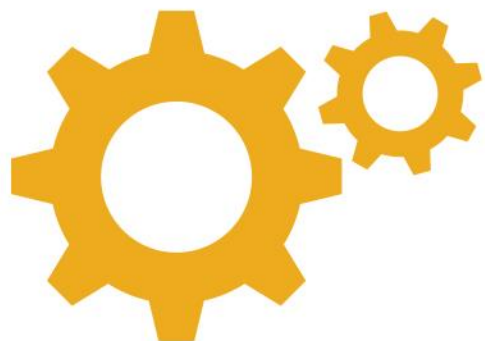
Para além do grupo, também o motor deve ser eficiente;

A norma IEC 600034-30 define as classes de eficiência para motores elétricos com potência efetiva PN entre 0,75 e 375 kW e define metas para a sua implementação.



13.º  
Congresso  
da Água  
7, 8 e 9 março de 2016  
LNEC | Lisboa

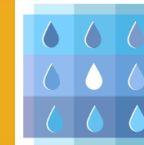
Como assegurar  
soluções resilientes  
e sustentáveis?



SUBSTITUIÇÃO DE GRUPOS ELETROBOMBA: ABORDAGEM  
DETERMINÍSTICA BASEADA EM ESTUDOS DE EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA.

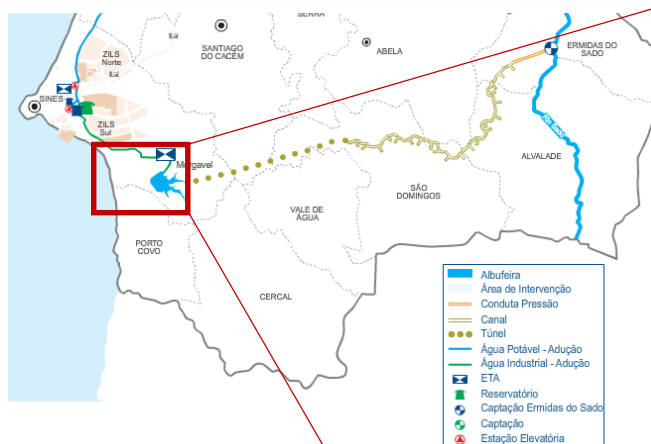
Exemplo:  
a captação de água em Morgavel.

Exemplo: A Captação de Água  
Industrial da AdSA



## Subsistema de Abastecimento de Água Industrial

- Captação do Sado;
- Adução Sado – Morgavel;
- Barragem e albufeira de Morgavel;
- **Captação de Morgavel;**
- Estação de Tratamento de Água de Morgavel (ETA);
- Adução ETA – Reservatório de Monte Chãos;
- Reservatório de Monte Chãos (50 000 m<sup>3</sup>);
- Rede de distribuição de água industrial na Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS): EDP, PETROGAL, REPSOL, ARTLAND, etc..

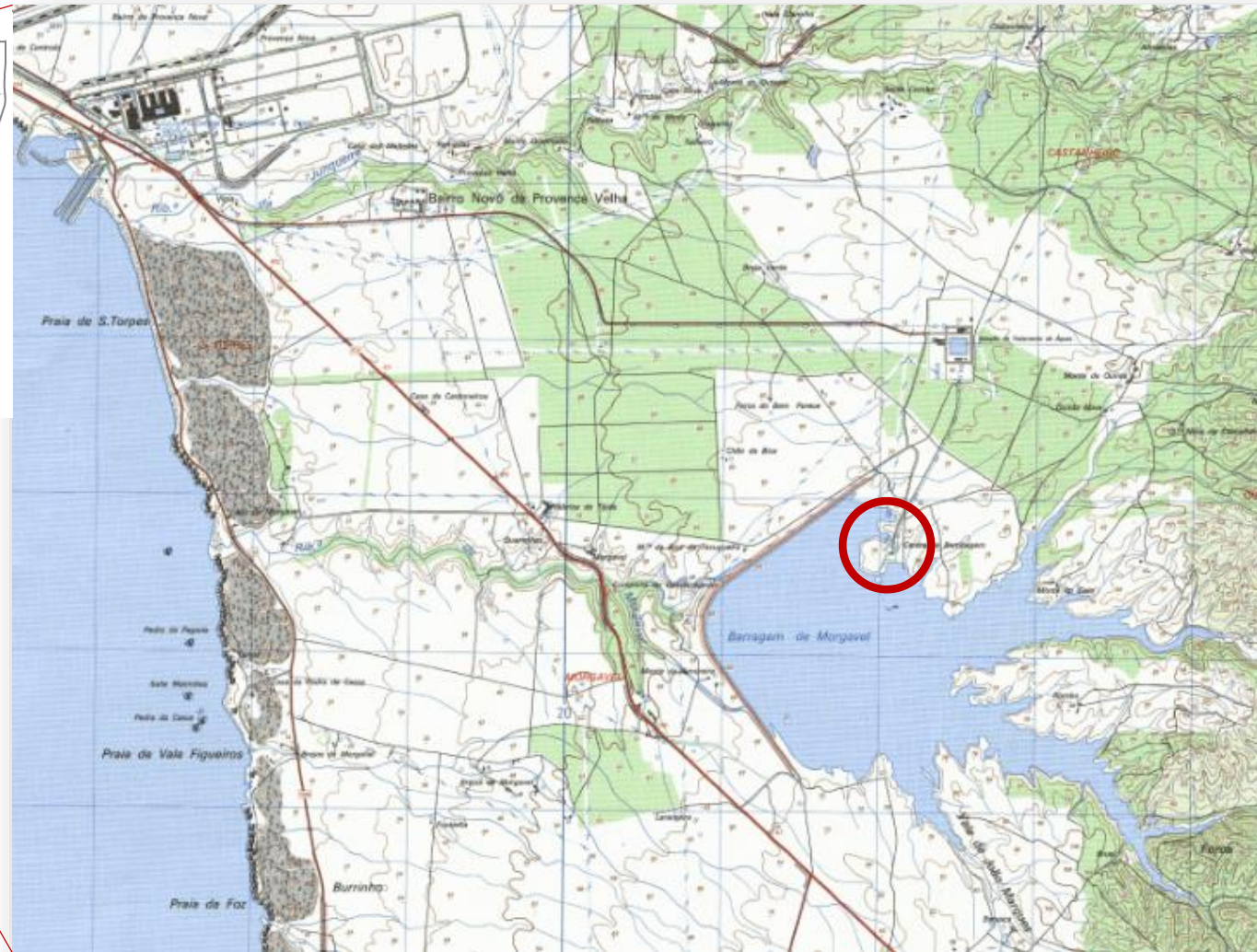


### Captação de Morgavel:

- **6 grupos eletrobomba** do tipo furo, datados de 1995 a 1997;
- 1 com caudal da ordem dos 290 L/s;
- **3 com caudal similar da ordem dos 250 L/s;**
- 2 mais pequenos, similares, com caudal da ordem dos 125 L/s.

**Nenhum** dos grupos eletrobomba existentes dispõe de **variação de velocidade**.

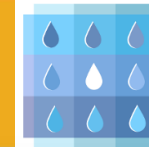
Foi analisada a performance dos grupos eletrobomba com maior utilização (os três com caudal de 250 L/s).





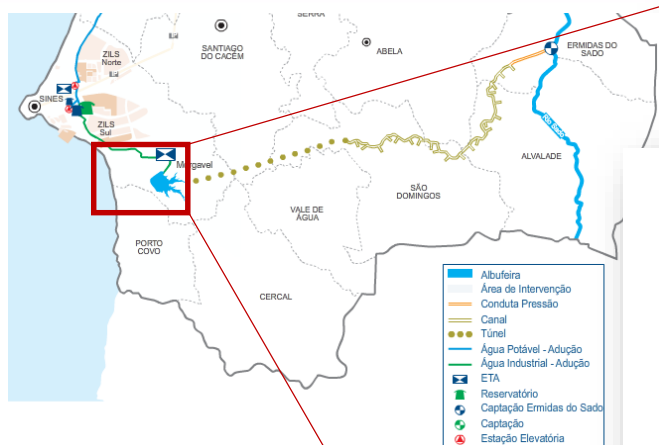


# ENQUADRAMENTO



## Subsistema de Abastecimento de Água Industrial

- Captação do Sado;
- Adução Sado – Morgavel;
- Barragem e albufeira de Morgavel;
- **Captação de Morgavel;**
- Estação de Tratamento de Água de Morgavel (ETA);
- Adução ETA – Reservatório de Monte Chãos;
- Reservatório de Monte Chãos (50 000 m<sup>3</sup>);
- Rede de distribuição de água industrial na Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS): EDP, PETROGAL, REPSOL, ARTLAND, etc..



### Captação de Morgavel:

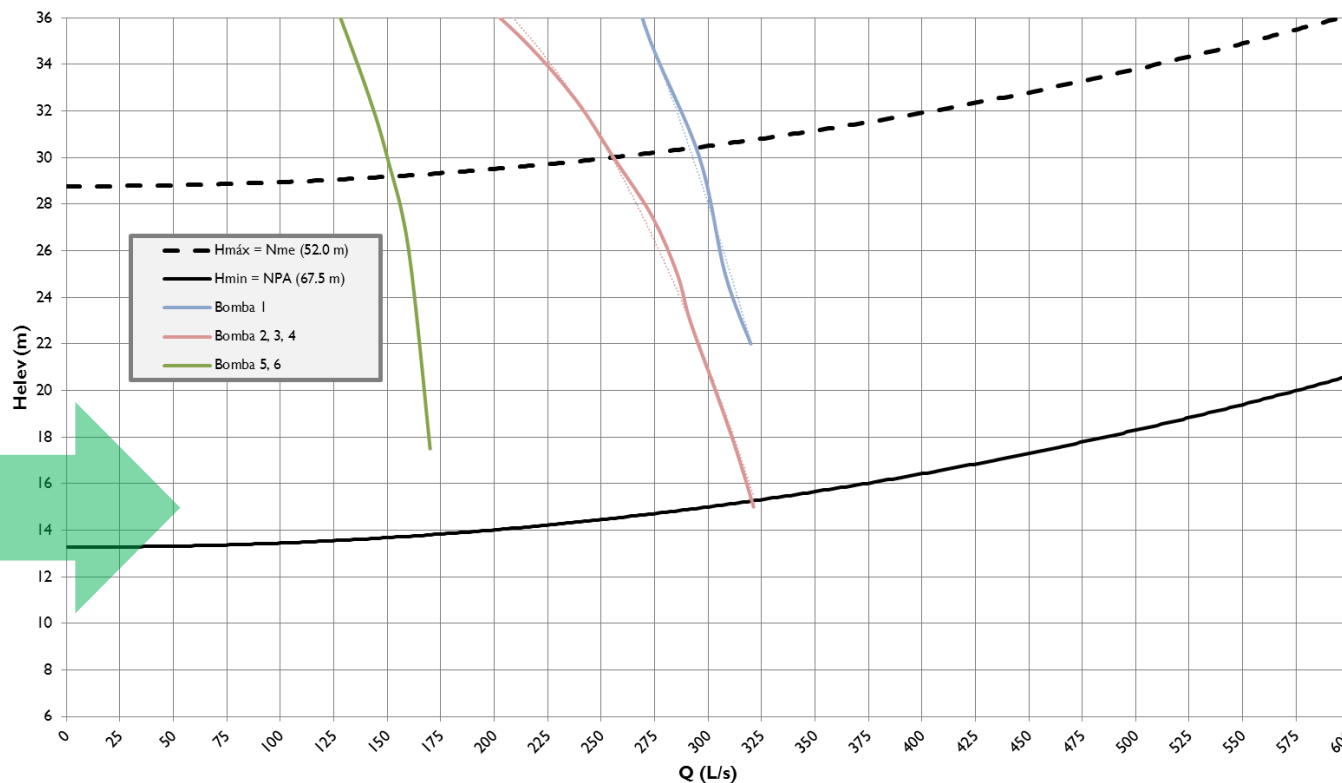
- **6 grupos eletrobomba** do tipo furo, datados de 1995 a 1997;
- 1 com caudal da ordem dos 290 L/s;
- **3 com caudal similar da ordem dos 250 L/s;**
- 2 mais pequenos, similares, com caudal da ordem dos 125 L/s.

Nenhum dos grupos eletrobomba existentes dispõe de **variação de velocidade**.

Foi analisada a performance dos grupos eletrobomba com maior utilização (os três com caudal de 250 L/s).



### Captação Morgavel Curvas características da instalação (Bombas 1, 2, 3, 4, 5 e 6)

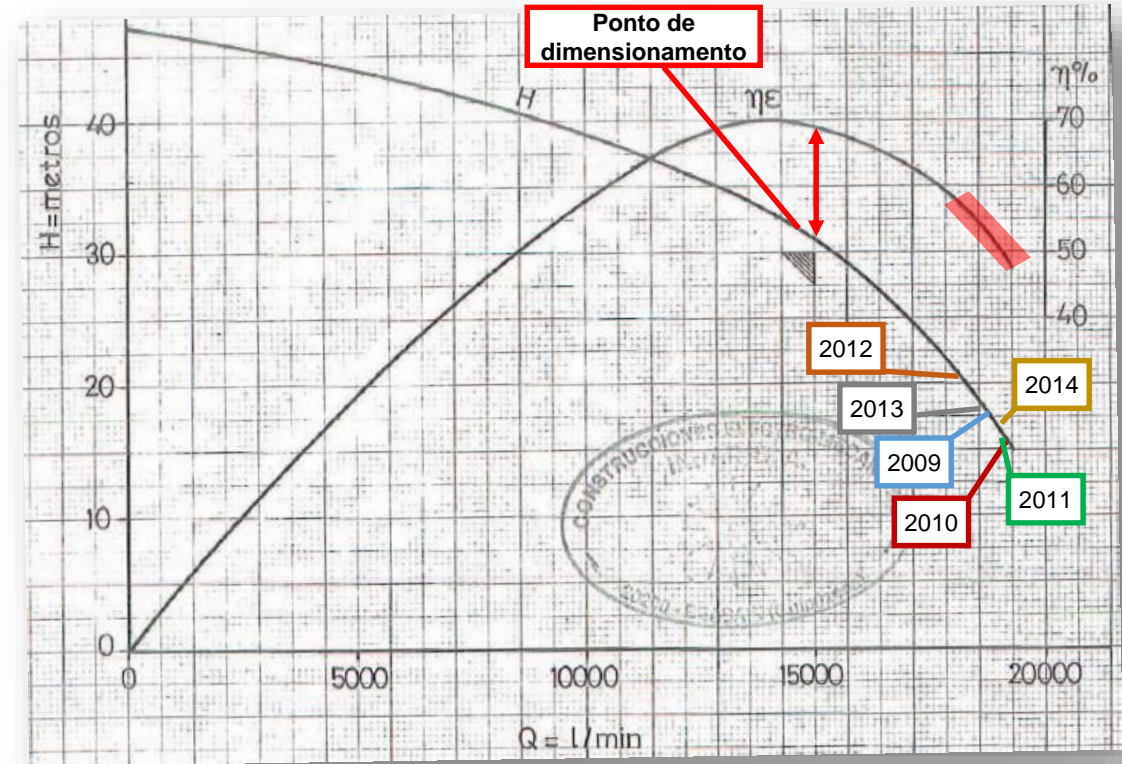
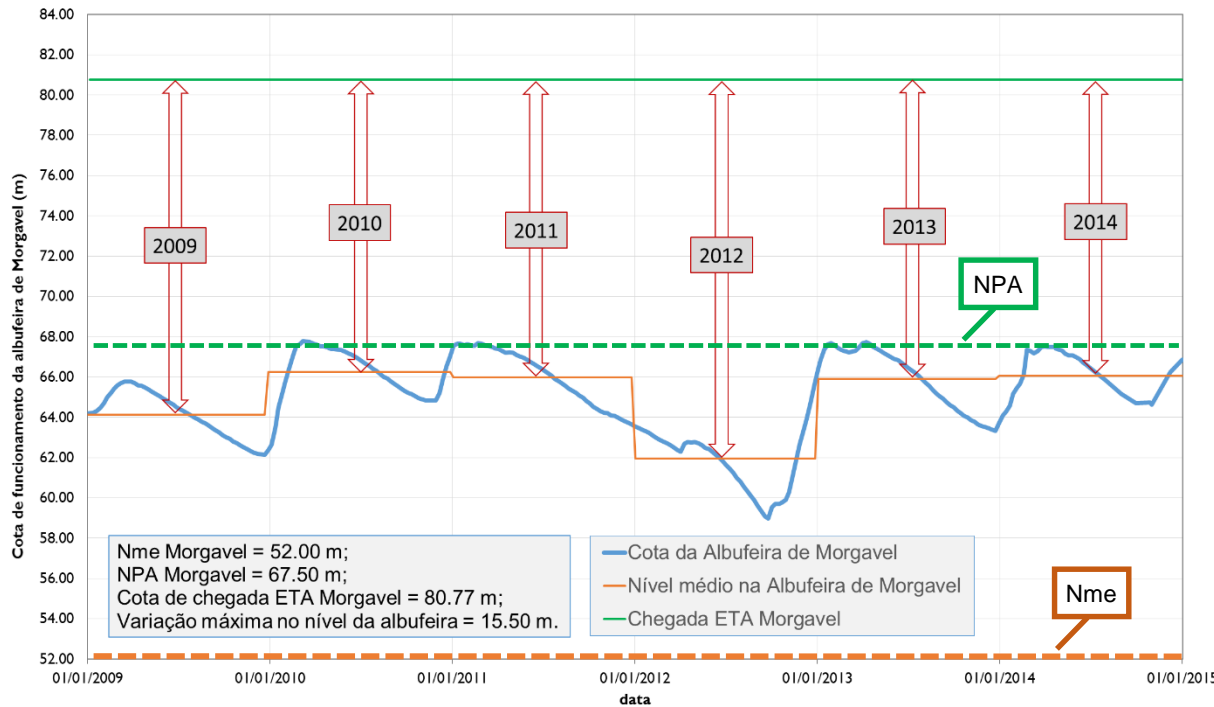




# ENQUADRAMENTO



- O caudal elevado por cada um dos grupos eletrobomba depende do nível da albufeira, ou seja, **varia com a altura de elevação**;
- A figura em baixo mostra a variação entre **2009 e 2014 (6 anos)**, que serviu de referência para a análise desenvolvida.



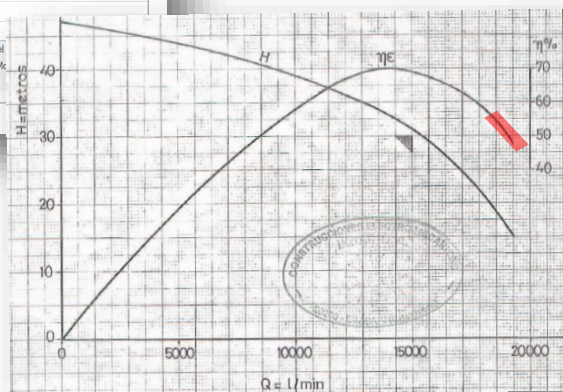
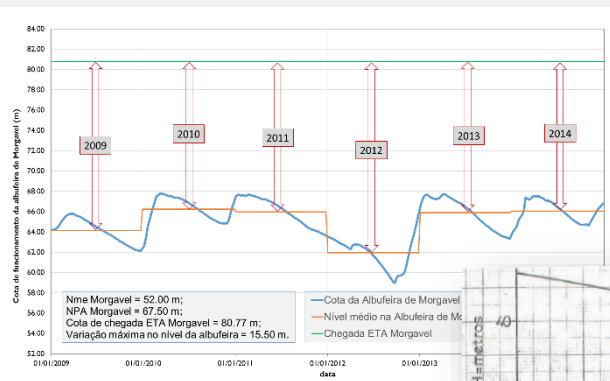
- O **ponto de dimensionamento** do grupo é bom: 250 L/s @ 30.0 m c.a., com rendimento de 70%;
- O **ponto de dimensionamento** dos grupos existentes corresponde ao nível da Albufeira de Morgavel, no valo mínimo (Nme).



# ENQUADRAMENTO



- Funcionamento médio contínuo, em 24 horas, 365 dias ao ano;
- Funciona **1 grupo sempre**, com o segundo grupo eletrobomba cerca de 50% do tempo;
- Apesar de no ponto de dimensionamento o rendimento dos grupos eletrobomba ser bom, na realidade o seu funcionamento ocorre para um caudal superior, com altura de elevação menor, e com rendimento muito inferior ao ideal (**média de 52.2%**).



## Caudais captados e elevados entre 2009 e 2014. Funcionamento médio estimado dos grupos eletrobomba existentes

|  | 2009               | 2010                | 2011                | 2012                 | 2013                 | 2014                 |
|--|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Q (m³/ano)</b>                                | 9 676 146          | 10 836 345          | 10 821 372          | 15 277 242           | 16 576 345           | 12 682 235           |
| <b>Q<sub>elevado</sub> médio (L/s) (24h/24h)</b> | 306.8              | 343.6               | 343.1               | 484.4                | 525.6                | 402.2                |
| <b>Nível Alb. médio (m)</b>                      | 64.12              | 66.25               | 65.98               | 61.94                | 65.91                | 66.05                |
| <b>Q<sub>individual</sub> (L/s)</b>              | 311.5              | 319.2               | 318.4               | 298.2                | 311.3                | 316.4                |
| <b>H<sub>elevação</sub> média (m c.a.)</b>       | 17.56              | 15.73               | 15.91               | 21.21                | 17.63                | 16.36                |
| <b>Rend.<sub>total</sub> médio (%)</b>           | 52.8%              | 49.1%               | 49.5%               | 58.3%                | 52.9%                | 50.5%                |
| <b>Grupos a funcionar em simultâneo</b>          | 1 (100%)<br>2 (0%) | 1 (100%)<br>2 (+7%) | 1 (100%)<br>2 (+7%) | 1 (100%)<br>2 (+38%) | 1 (100%)<br>2 (+41%) | 1 (100%)<br>2 (+22%) |
| <b>Energia (kWh/m³)</b>                          | 0.090567           | 0.0872456           | 0.0875141           | 0.0990523            | 0.0906991            | 0.0882561            |
| <b>Energia (kWh/ano)</b>                         | 876 335            | 945 423             | 947 022             | 1 513 245            | 1 503 460            | 1 119 285            |
| <b>C<sub>unit.energia</sub> (€/kWh)</b>          | 0.11               | 0.11                | 0.11                | 0.11                 | 0.11                 | 0.11                 |
| <b>C<sub>total</sub> (€/ano)</b>                 | 96 397             | 103 997             | 104 172             | 166 457              | 165 381              | 123 121              |



# DECISÃO DE SUBSTITUIÇÃO



## Problemas de funcionamento e de exploração da captação de Morgavel:

- Grupos eletrobomba com **20 anos** de utilização intensiva;
- Necessidade **imediate de manutenção** com custos elevados;
- Disponibilidade reduzida de **peças de reserva** e prazos de entrega elevados;
- **Baixos rendimentos** dos grupos eletrobomba;
- Necessidade de **reduzir os consumos energéticos**;
- Impossibilidade de aproveitar os melhores e mais económicos períodos diários do **custo da energia**;
- Dificuldade atual em explorar a albufeira nas **diferentes cotas**;
- Dificuldade de regulação do caudal para compatibilizar **diferentes regimes de exploração na ETA**.

## A decisão tomada pela AdSA foi:

- **Substituir 3 grupos** (para funcionar normalmente em modo 2+1, mas com possibilidade de funcionar em modo 3+0, com capacidade similar entre si) e manter os restantes 3);
- **Caudal nominal de 300 L/s** (em vez dos 250 L/s dos existentes), devido a aumento dos caudais a fornecer às indústrias, a curto prazo;
- **Caudal garantido para o ponto de funcionamento mais desfavorável**, ou seja, com a albufeira de Morgavel no Nível Mínimo de Exploração (Nme), e para apenas 1 grupo em funcionamento;
- **Instalação variação de velocidade** nos novos grupos eletrobomba, que permitam maior constância no caudal a aduzir à ETA, que garante o mesmo valor de 300 L/s quando a albufeira se encontra na sua capacidade máxima;
- Obtenção de **melhores rendimento** em todos os pontos de funcionamento.



# DESENVOLVIMENTO



Foram desenvolvidas as **curvas características da instalação**, tendo por base:

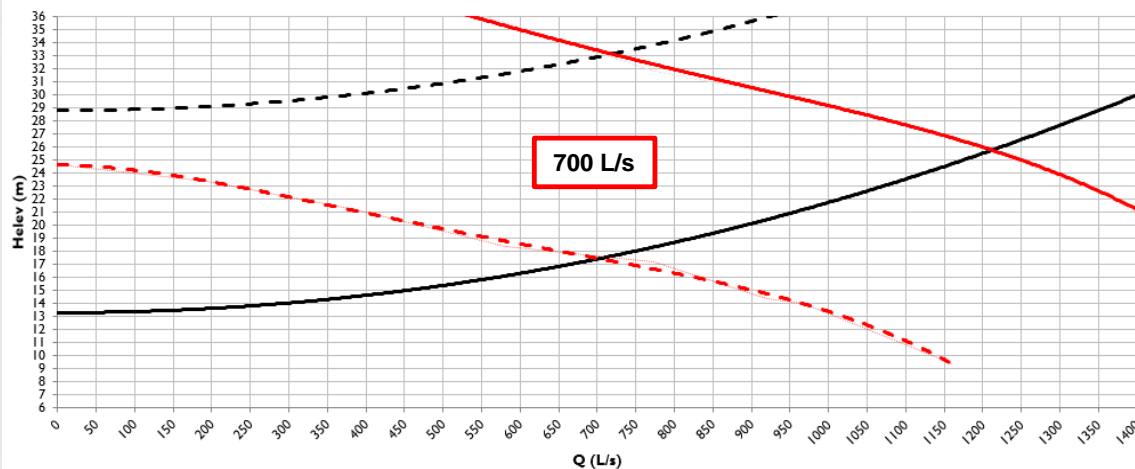
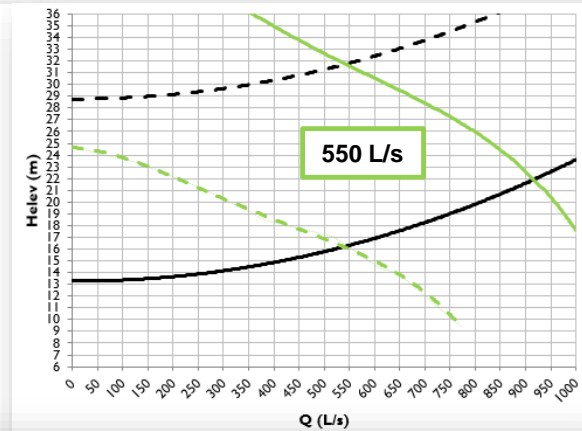
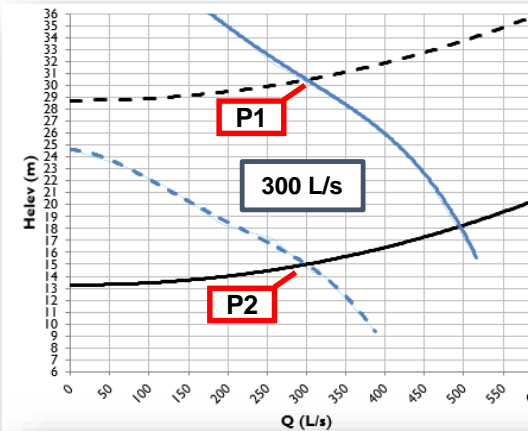
- as características dos equipamentos e tubagens a instalar;
- as cotas da albufeira e ETA de Morgavel;
- todas as perdas de carga contínuas e localizadas;
- os diferentes modos de funcionamento.

Para o caudal de 300 L/s são obtidos **dois pontos extremos de funcionamento**, dependendo do nível da albufeira:

- **P1:** 300 L/s @ 30.5 m c.a., quando a albufeira de Morgavel se encontra no seu nível mínimo de exploração (Nme);
- **P2:** 300 L/s @ 15.0 m c.a., quando a albufeira de Morgavel se encontra no seu nível de pleno armazenamento (NPA).

Foram consultados **diversos fornecedores** de grupos eletrobomba, tendo-se concluído que existem grupos eletrobomba compatíveis.

## Funcionamento com 1 grupo, 2 grupos e 3 grupos em simultâneo





# DESENVOLVIMENTO



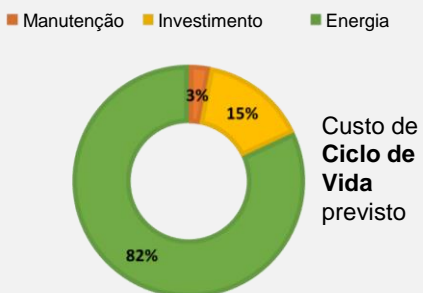
**Rendimento mínimo** a garantir pelo novo grupo eletrobomba nos pontos de funcionamento P1 e P2:

- 78.0% ≤ η bomba ≤ 100%; 80.0% ≤ η motor ≤ 100%;
- 62.4% ≤ η total ≤ 100%.

**Forma de avaliação** para decisão de qual o fornecer executar os trabalhos:

foram considerados **3 critérios**:

- Preço global (20%);
- Valia técnica (25%);
- Rendimento nos pontos de funcionamento especificados (55%).

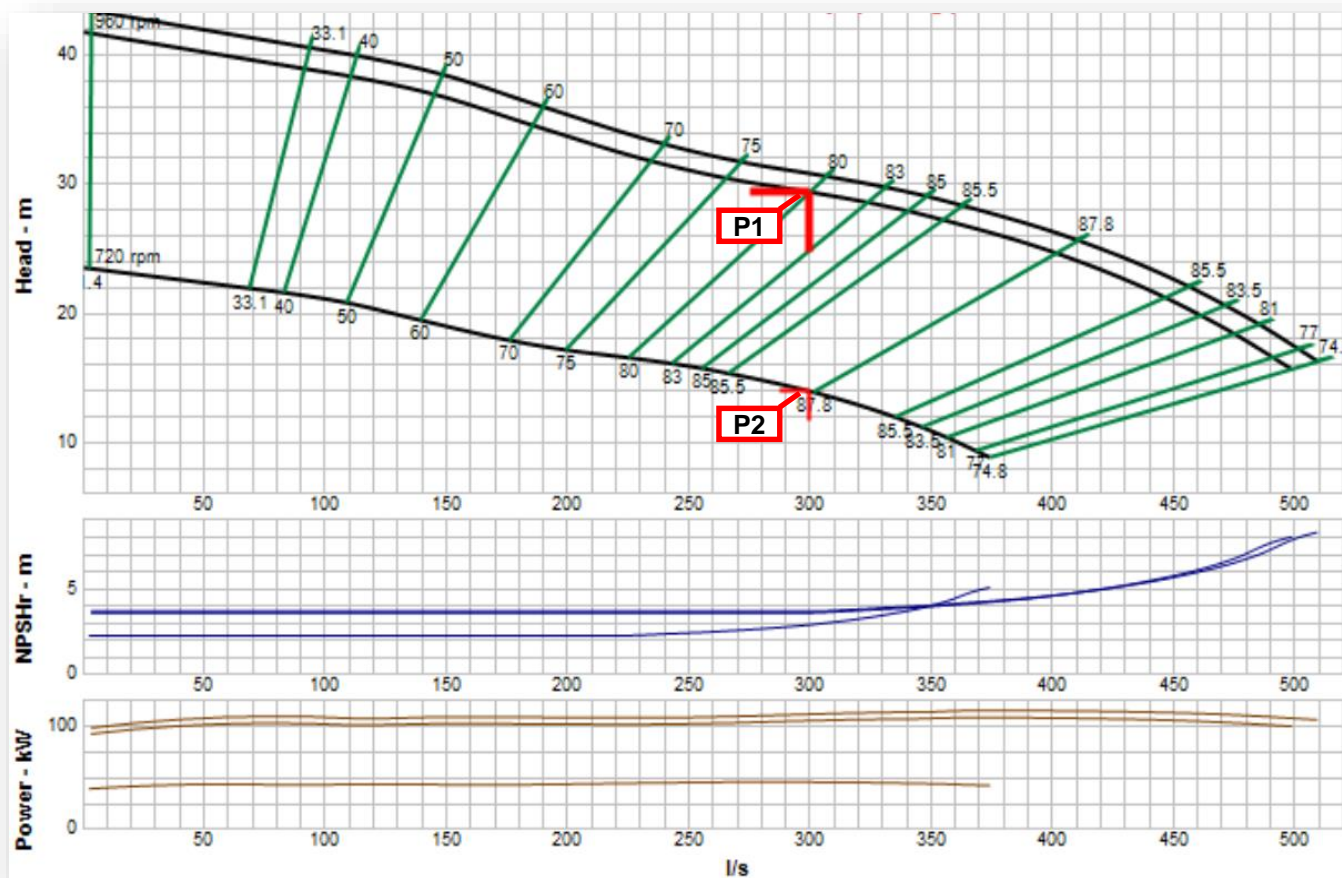


### Nota:

O peso atribuído a cada um destes critérios resultou de ensaios efetuados para diferentes pontuações possíveis de cada um deles.

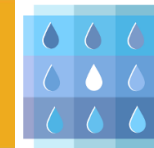
A consideração de um valor para o preço global superior a 10%, deve-se ao facto do valor do investimento ser muito significativo, e por isso dever ter expressão na avaliação final.

## Curva característica de um grupo do tipo furo, com variação de velocidade





# RESULTADOS ESPERADOS



A diferença de custos (potencial) é muito significativa:

- rendimentos da ordem de **75.6%**;
- poupança potencial média de **38 000 €/ano**;
- redução média de **30%/ano** nos custos de energia deste captação.

No que respeita a recuperação do investimento:

- substituição por grupos equivalentes: 240 000 € (**grupos eletrobomba**);
- solução adotada com variação de velocidade: 325 000 € (**grupos eletrobomba e reformulação das instalações elétricas**);
- Considerando que **é necessário a substituição dos grupos existentes**, o diferencial do valor da empreitada é ganho em “apenas” **2 anos e meio**.

Adicionalmente, o **aumento** esperado dos caudais no futuro irá potenciar os ganhos com a eficiência do sistema e reduzir o tempo de recuperação do investimento agora previsto.

## Caudais captados e elevados entre 2009 e 2014.

### Funcionamento médio estimado dos novos grupos eletrobomba

|  | 2009        | 2010        | 2011        | 2012        | 2013        | 2014        |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Q (m³/ano)</b>                          | 9 676 146   | 10 836 345  | 10 821 372  | 15 277 242  | 16 576 345  | 12 682 235  |
| <b>Q<sub>individual</sub> (L/s)</b>        | 311.5       | 319.2       | 318.4       | 298.2       | 311.3       | 316.4       |
| <b>H<sub>elevação média</sub> (m c.a.)</b> | 17.56       | 15.73       | 15.91       | 21.21       | 17.63       | 16.36       |
| <b>Rend<sub>grupo médio</sub> (%)</b>      | 87.0%       | 87.5%       | 87.8%       | 85.2%       | 87.0%       | 87.2%       |
| <b>Rend<sub>motor médio</sub> (%)</b>      | 87.0%       | 87.0%       | 87.0%       | 87.0%       | 87.0%       | 87.0%       |
| <b>Rend<sub>total médio</sub> (%)</b>      | 75.7%       | 76.1%       | 76.4%       | 74.1%       | 75.7%       | 75.9%       |
| <b>Energia (kWh/m³)</b>                    | 0.063162    | 0.0562675   | 0.0567013   | 0.0779057   | 0.0633906   | 0.0587014   |
| <b>Energia (kWh/ano)</b>                   | 611 165     | 609 734     | 613 586     | 1 190 184   | 1 050 784   | 744 465     |
| <b>C<sub>unit.energia</sub> (€/kWh)</b>    | 0.11        | 0.11        | 0.11        | 0.11        | 0.11        | 0.11        |
| <b>C<sub>total</sub> (€/ano)</b>           | 67 228      | 67 071      | 67 494      | 130 920     | 115 586     | 81 891      |
|  | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> |
| <b>Redução<sub>Potencial</sub> (€/ano)</b> | -29 169     | -36 926     | -36 678     | -35 537     | -49 794     | -41 230     |
| <b>Redução<sub>Potencial</sub> (%)</b>     | -30.3%      | -35.5%      | -35.2%      | -21.3%      | -30.1%      | -33.5%      |



# O PROJETO DESENVOLVIDO

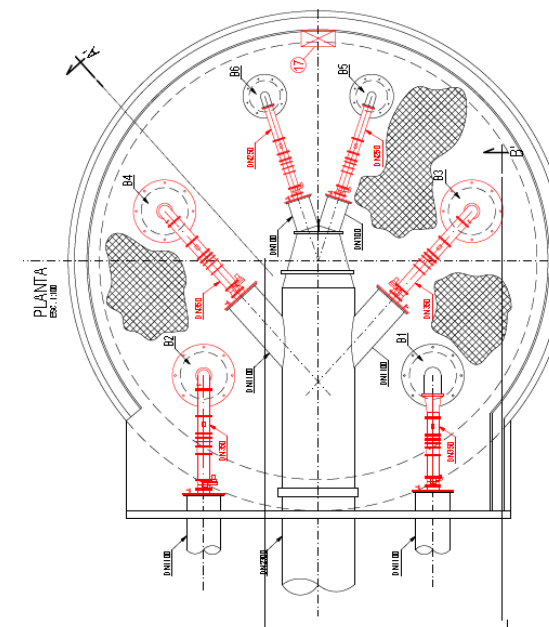
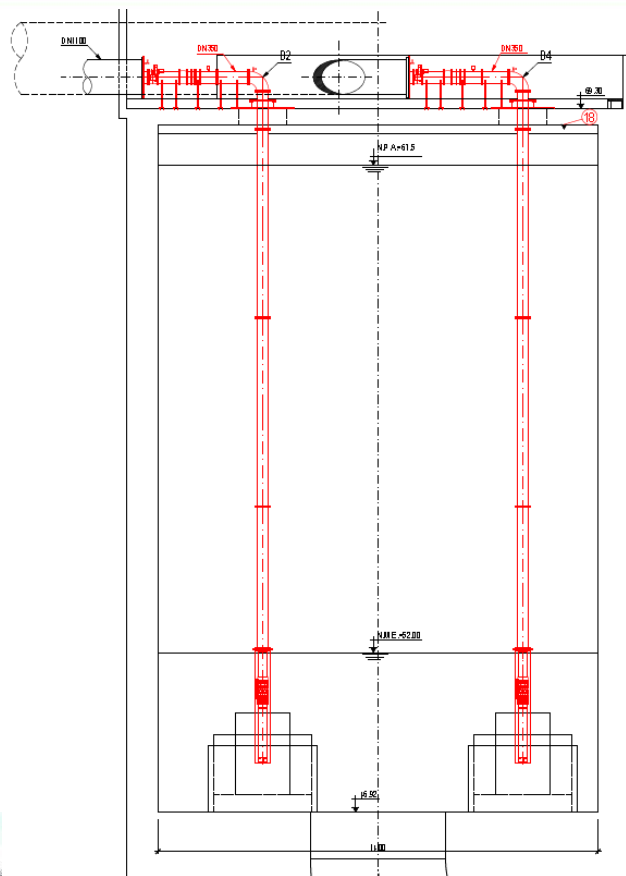


13.º Congresso da Água  
7, 8 e 9 março de 2016  
INEC | Lisboa  
Como assegurar soluções resilientes e sustentáveis?

Em empreitadas desta natureza é normal serem efetuados **melhoramentos** em toda a estação elevatória.

Neste caso foram previstos melhoramentos gerais ao nível de:

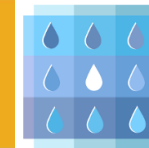
- colunas de compressão;
- medidores de caudal individuais;
- válvulas de retenção;
- válvulas de seccionamento;
- equipamentos conexos;
- Proteções anti-corrosivas;
- Pinturas.







## CONCLUSÕES



13.<sup>o</sup>  
Congresso  
da Água  
7, 8 e 9 março de 2016  
LISBOA  
Como assegurar  
soluções resilientes  
e sustentáveis?

O presente artigo tentou apresentar a importância de desenvolver estudos cuidados aquando da intenção de substituir grupos eletrobomba existentes.

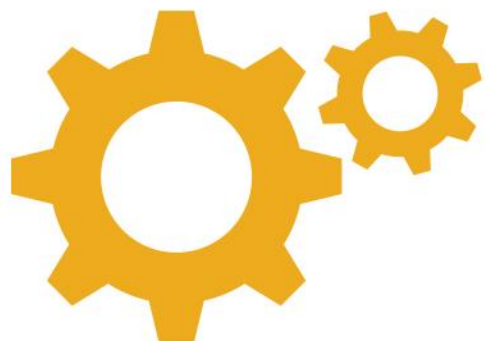
Os estudos desenvolvidos pela Direção de Engenharia Corporativa da AdP têm vindo a incorporar metodologias cuidadas de análise:

- do **enquadramento do funcionamento** percebendo se existe inadequação do grupo eletrobomba existente;
- da adequação do projeto original à **realidade** e ao grupo eletrobomba existente;
- da evolução das **necessidades futuras** para um novo grupo eletrobomba;
- da **evolução tecnológica** dos grupos eletrobomba sofreram com ganhos de eficiência significativos a par de alguma diminuição do seu custo;
- da importância do **consumo energético** no custo do ciclo de vida do grupo eletrobomba.



13.º  
Congresso  
da Água  
7, 8 e 9 março de 2016  
LNEC | Lisboa

Como assegurar  
soluções resilientes  
e sustentáveis?



SUBSTITUIÇÃO DE GRUPOS ELETROBOMBA: ABORDAGEM  
DETERMINÍSTICA BASEADA EM ESTUDOS DE EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA.

Exemplo:  
a captação de água em Morgavel.

Obrigado!