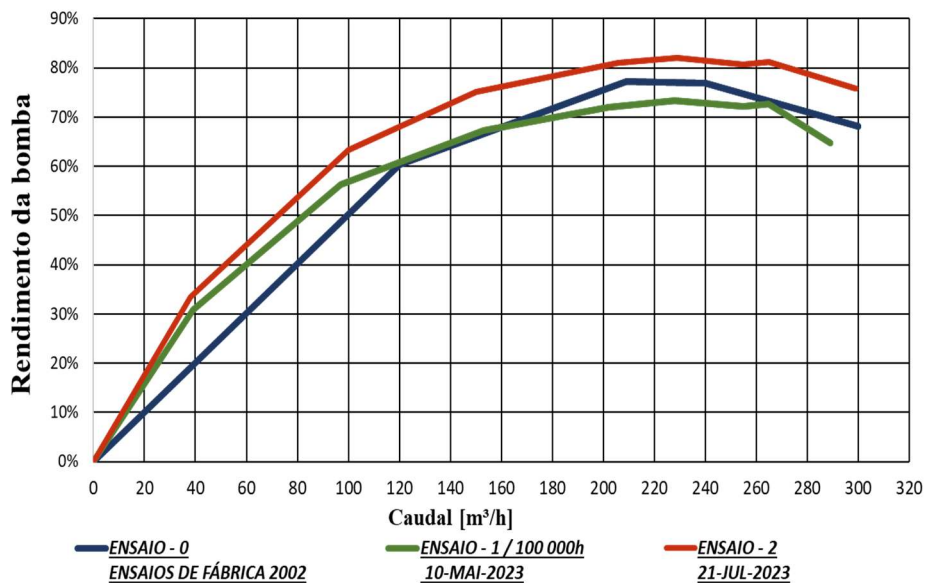


## INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica



## Processos de *Revamping* de Grupos Eletrobomba de Água Potável

MIGUEL VASCO QUINTAS FERNANDES

(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor Jorge Filipe Oliveira de Mendonça e Costa

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor Miguel José Pereira Sales Cavique Santos

Doutor Jorge Filipe Oliveira de Mendonça e Costa

dezembro de 2023



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Processos de *Revamping* de  
Grupos Eletrobomba de Água Potável**

**MIGUEL VASCO QUINTAS FERNANDES**

**(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores)**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

**Orientadores:**

Doutor Jorge Filipe Oliveira de Mendonça e Costa

Doutor José Augusto da Silva Sobral

**Júri:**

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor Miguel José Pereira Sales Cavique Santos

Doutor Jorge Filipe Oliveira de Mendonça e Costa

**dezembro de 2023**

## Agradecimentos

Aos dois orientadores, professor Jorge Mendonça e Costa e professor José Sobral, ambos referências do ensino no ISEL com imenso mérito, o meu eterno obrigado por terem aceitado orientar este trabalho, disponibilizando as suas vastas experiências, assegurando o enquadramento académico do trabalho e elevando incomensuravelmente o seu rigor e a sua qualidade.

O agradecimento naturalmente especial para a Tânia que me influenciou fortemente a enveredar nesta aventura do mestrado em Engenharia Mecânica. Esta experiência, embora me tenha exido a disponibilidade que há muito não tenho, permitiu-me voltar a sentir o que já não sentia há muitos anos, o prazer de estudar e de me obrigar a ter tempo para me dedicar a assuntos que de outro modo dificilmente conseguiria, ou pelo menos com a profundidade necessária. Ainda ao nível familiar, uma palavra também de agradecimento aos meus pais e à minha irmã, que sempre apoiaram este regresso ao ensino superior.

Ao nível profissional, para a realização deste trabalho foi crucial a EPAL, na disponibilização dos grupos eletrobomba objeto de intervenções de manutenção, bem como do suporte quer em meios humanos quer em meios materiais, para permanentemente poderem ser robustecidas as avaliações e consequentemente a qualidade do trabalho. Nestes agradecimentos inserem-se naturalmente um conjunto alargado de colegas quer ao nível dos cargos de topo da Direção de Manutenção quer das diferentes zonas geográficas e oficinas onde foram realizados alguns trabalhos inerentes às intervenções nos grupos eletrobomba. Ao nível da Direção de Manutenção o Francisco Braga e o Mário Maria. Em Vila Franca de Xira o António Félix, o Jorge Gueifão, o Jorge Gandum e o José Correia. Na Asseiceira, quer em oficina, quer nos muitos ensaios de terreno que foram realizados, o José Melo, o Manuel Henriques, o Mário Marques, o Hugo Marques, o João Salvador, Pedro Araújo, José Leitão e Vítor Patrício. À empresa e a todos os inextinguíveis colegas, o meu muito profundo e sentido agradecimento.

## Resumo

Em Portugal, as Entidades Gestoras (EG) do setor da água potável estão obrigadas à comunicação anual ao regulador – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) - de um conjunto de indicadores que refletem o seu desempenho em diferentes domínios. Especificamente no que diz respeito à gestão de energia na elevação de água potável existe um indicador global (AA16<sub>ab</sub>), que se pretende que reflita as boas práticas das EG. Os cálculos efetuados indicam que em Portugal devem ser desperdiçados anualmente 100 GWh de energia elétrica na elevação de água, o que poderá equivaler a aproximadamente 10 milhões de euros.

No presente trabalho estudou-se o estado da arte no que diz respeito a bombas centrífugas e a motores assíncronos e acompanharam-se três intervenções em bombas, tendo sido aplicados diferentes tipos de revestimentos e de metodologia de aplicação. Procedeu-se a uma comparação entre ensaios de desempenho: em fábrica, antes de intervenção de manutenção e após a intervenção de manutenção. Obtiveram-se melhorias de desempenho com as intervenções de manutenção, em certos pontos de funcionamento, que atingiram valores da ordem dos onze pontos percentuais (por exemplo de 64% para 75%). Com as bombas revestidas, foi possível superar o desempenho das bombas em fábrica, independentemente do produto que tenha sido aplicado.

Paralelamente foi realizada a avaliação da condição das máquinas antes e após a intervenção, para se poder enquadrar a metodologia numa verdadeira política de gestão da manutenção.

## Palavras-Chave

Grupo Eletrobomba; Impulsor; Manutenção; Fiabilidade; Rendimento.

## Abstract

In Portugal, the Managing Entities (ME) of the drinking water sector are obliged to communicate annually to the regulator – Regulatory for Water and Waste Services (RWWS) – a set of indicators that reflect their performance in different areas. Specifically, regarding energy management of drinking water in pumping stations, there is a global indicator (AA16ab), which is intended to reflect the good practices of ME. The calculations made, indicate that in Portugal 100 GWh of electricity should be wasted annually in the water pumping stations, which should be equivalent to 10 million euros.

In the present work we studied the state of the art with regard to centrifugal pumps and asynchronous motors and followed three interventions in pumps, having been applied different types of application and coatings. Data from performance evaluation was compared: factory, before and after maintenance intervention. With coated pumps, the benefits after maintenance interventions could be, in a certain operation point, eleven points higher (for example, from 64% to 75%). Factory performances have been overtaken, whatever coating product we consider.

At the same time, the evaluation of machine's condition was carried out before and after the maintenance intervention, in order to fit the methodology into a true maintenance management policy.

## Keywords

Water pump; Impeller; Maintenance; Reliability; Efficiency.

## Lista de acrónimos e de siglas

- AdP – Águas de Portugal
- AISI – *American Iron and Steel Institute*
- ANSI – *American National Standards Institute*
- API - *American Petroleum Institute*
- ASTM – *American Society for Testing and Materials*
- AWWA – *American Water Works Association*
- BEP – *Best Efficiency Point*
- EUA – Estados Unidos da América
- ECO.AP - Eficiência de Recursos na Administração Pública
- EE – Estação Elevatória
- EG – Entidade Gestora
- EPAct – *Energy Policy Act*
- EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres
- ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
- IDE – Indicador de desempenho energético
- IEC – *International Electrotechnical Commission*
- IRAR – Instituto Regulador de Água e Resíduos
- ISO – *International Organization for Standardization*
- IWA – *International Water Association*
- NEMA - *National Electrical Manufacturers Association*
- RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- RGCE – Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
- RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
- SI – Sistema Internacional de Unidades
- SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
- TIR – Taxa Interna de Rentabilidade
- UE – União Europeia
- VAL – Valor Atualizado Líquido
- WQA – *Water Quality Association*
- WRAS – *Water Regulation Advisory Scheme*

## Símbolos e dimensões

A – Área [m<sup>2</sup>]

f – Frequência [Hz]

g – Aceleração da gravidade no planeta Terra [m/s<sup>2</sup>] = 9,81 m/s<sup>2</sup>

H<sub>geo</sub> – Altura geométrica [m]

H<sub>m</sub> – Altura manométrica [m]

i – Corrente elétrica [A]

I – Inércia [kg·m<sup>2</sup>]

L – Comprimento [m]

m – Massa [kg]

N – Velocidade de rotação [rpm]

NPSH – “Net positive suction head” [m de líquido]

P – Peso [N]

p – Pressão [N/m<sup>2</sup>]

P<sub>a</sub> – Potência ativa [W]

R – Resistência - [Ω]

S – Potência aparente [VA]

Q<sub>r</sub> – Potência reativa [VAr]

Q<sub>v</sub> =  $\dot{q} = \frac{dV}{dt}$  – Caudal volumétrico [m<sup>3</sup>/s]

Q<sub>m</sub> =  $\dot{m} = \frac{dm}{dt}$  – Caudal mássico [kg/s]

t – Tempo [s]

T – Temperatura (absoluta) [K]

U – Tensão elétrica [V] (U<sub>s</sub> – tensão simples e U<sub>c</sub> – tensão composta / entre fases)

v – Velocidade [m/s]

V – Volume [m<sup>3</sup>]

X – Reatância [Ω]

z – Cota [m]

Z – Impedância [Ω]

ρ - Densidade [kg/m<sup>3</sup>]

ρ<sub>e</sub> – Resistividade elétrica [Ωm]

σ<sub>e</sub> – Condutividade elétrica [S/m]

η - Eficiência

γ - Peso volúmico [N/m<sup>3</sup>]

ν - Viscosidade cinemática ou relativa [m<sup>2</sup>/s]

μ - Viscosidade dinâmica [Pa·s]

# Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos .....	6
1.3	Motivação.....	7
1.4	Estrutura do trabalho .....	8
2	A gestão de energia, a indústria da água e seus desafios para o século XXI .....	9
2.1	Eficiência energética – Diretivas e regulamentos da UE .....	9
2.2	Acordo de Paris [12] .....	11
2.3	Roteiro para a neutralidade carbónica - RNC2050 [13].....	11
2.4	Estratégia de Portugal para 2030 [14].....	12
2.5	ERSAR - indicadores de desempenho de grupos eletrobomba.....	13
2.6	Referencial normativo .....	20
2.7	Gestão estratégica e eficiência energética na indústria da água.....	20
3	Grupos eletrobomba – avaliação de variáveis de influência no seu desempenho .....	22
3.1	Conceitos fundamentais .....	22
3.2	Grupo eletrobomba de elevação de água.....	25
3.3	Motor elétrico.....	27
3.4	Acoplamento .....	32
3.5	Bomba .....	34
3.6	Fluido – Água potável.....	48
4	Processos de <i>revamping</i> de grupos eletrobomba.....	50
4.1	Sistemas elevatórios em avaliação .....	54
4.2	Avaliação do funcionamento de grupos eletrobomba de água potável.....	55
4.3	Alinhamento de motor com bomba - transversal às intervenções realizadas.....	57
4.4	Intervenção 1: EE Curvaceiras – Grupo 2 Soudos (abr-mai2023).....	58
4.5	Intervenção 2: EE Madeiras – Grupo 2 (abr-jul2023).....	65

4.6	Intervenção 3: EE Curvaceiras – Grupo 4 Soudos (mai-jul2023).....	78
4.7	Comparativo do trabalho realizado em cada intervenção .....	84
4.8	Avaliação económica das intervenções.....	86
5	Conclusões e trabalhos futuros .....	94
	Referências Bibliográficas .....	97

## **ANEXOS**

ANEXO A	Avaliação de indicadores de eficiência ERSAR
ANEXO B	Conceitos fundamentais
ANEXO C	Procedimento de avaliação de desempenho (grupos eletrobomba)
ANEXO D	Controlo de condição
ANEXO E	Avaliação hidráulica dos sistemas elevatórios
ANEXO F	EE Curv. Gr. 2 – Resumo dos trabalhos de inspeção
ANEXO G	EE Mad. Gr. 2 – Resumo dos trabalhos de inspeção
ANEXO H	EE Curv. Gr. 4 – Resumo dos trabalhos de inspeção
ANEXO I	Comparação de resultados obtidos com as intervenções

## Índice de Figuras

Figura 1 – WQA – Certificação profissional [5] .....	3
Figura 2 – Ciclo urbano da água (produção de água e saneamento respetivo) [2].....	4
Figura 3 – Caracterização do sistema de produção de água e de energia elétrica.....	5
Figura 4 – Cronologia de publicação de Diretivas e Regulamentos da UE de índole de eficiência energética .....	9
Figura 5 – Eficiência mínima obrigatória para motores elétricos trifásicos (adaptado de [10]) .....	10
Figura 6 – «Estratégia para o Plano de Recuperação Económica de Portugal 2020-30» (adaptado de [14]) .....	12
Figura 7 – Contexto das EG [15] .....	13
Figura 8 – Sistema da ERSAR para acompanhamento do desempenho de EG – 4ª Geração (adaptado de [16]).	15
Figura 9 – Modelo do sistema de gestão de energia ISO 50001 [2] .....	20
Figura 10 – Perfil de rugosidade obtido com o rugosímetro Tesa Rugosurf 20 .....	22
Figura 11 – Triângulo de potências de uma carga indutiva .....	25
Figura 12 – Grupo eletrobomba em operação numa estação elevatória de água potável.....	25
Figura 13 – Esquema de grupo electrobomba e elementos de suporte (adaptado de [19]).....	26
Figura 14 – Esquema de grupo electrobomba tipo “caixa preta” (adaptado de [20]) .....	27
Figura 15 – Motor elétrico trifásico [21] .....	28
Figura 16 – Esquema monofásico equivalente em T de uma máquina elétrica de indução [22] .....	29
Figura 17 – Motores de indução – Distribuição do peso de cada componente de perdas [23] .....	29
Figura 18 – Motores de indução – Índices de eficiência em função da potência [23] .....	30
Figura 19 – Transmissão de potência – Tipos de acoplamento .....	33
Figura 20 – Acoplamento elástico de torsão flexível da Marca Flender, Modelo N-Eupex [24] .....	33
Figura 21 – Alinhadores do tipo Laser num processo de alinhamento .....	34
Figura 22 – Entrada e saída de fluido numa bomba do tipo centrífugo (em planta e em corte) [20] .....	34
Figura 23 – Bomba centrífuga de aspiração axial e compressão radial (adaptado de [25]).....	35
Figura 24 - Voluta de uma bomba centrífuga - vista frontal (adaptado de [26]) .....	35
Figura 25 – Identificação das zonas da voluta de uma bomba centrífuga.....	36
Figura 26 – Impulsor fechado: Pás de entrada de água.....	37
Figura 27 – Impulsor fechado: Canal de saída de água .....	37
Figura 28 – Vista frontal de um impulsor (linhas de velocidade de escoamento) (adaptado de [26]) .....	37
Figura 29 – Impulsor sujeito a desgaste extremo (perda de material) .....	38
Figura 30 – Impulsor sujeito a desgaste por cavitação (tensão de vapor não foi assegurada) .....	38
Figura 31 – Configuração dos veios de bombas centrífugas com aspiração axial e compressão radial.....	39
Figura 32 – Veio de bomba centrífuga de aspiração axial e compressão radial (adaptado de [25]) .....	39
Figura 33 – Conjunto rotórico de uma bomba após equilibragem.....	40
Figura 34 – Veio e camisa onde trabalha o empanque da bomba.....	40
Figura 35 – Caixa de rolamentos aberta, com freios interiores visíveis .....	41
Figura 36 – Freios dos tipos exteriores e interiores [27].....	41
Figura 37 – Extremidade do veio com a chave de fixação do impulsor .....	41
Figura 38 – Produtos de revestimento com aplicação na indústria da água potável.....	43
Figura 39 – Certificado WRAS de aprovação de produto para contacto com água potável .....	43
Figura 40 – Aplicação de forças a suportar pelos rolamentos (adaptado de [28]) .....	43
Figura 41 – Rolamento SKF 3309 A/C3 da bomba EFACEC CJG 125/315 S/N 22843002.....	44
Figura 42 – Pistas interiores de dois rolamentos de esferas do tipo isolado .....	44
Figura 43 – Diferente formas de anéis de desgaste em bombas (adaptado de [29]) .....	45
Figura 44 – Exemplo de cordão de empanque em PTFE da Chesterton.....	46
Figura 45 – Empanque mecânico com aplicação em bombas de água - Burgmann [31].....	47
Figura 46 – Exemplos de curvas típicas do funcionamento de bombas centrífugas .....	47
Figura 47 – Atividades do sistema de gestão da manutenção .....	51
Figura 48 – Sistema de gestão da manutenção de sistemas elevatórios.....	52
Figura 49 – Processo recursivo de atividades de gestão da manutenção (com registo de inspeções).....	53
Figura 50 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Curvaceiras – Res. de Soudos [34] .....	54
Figura 51 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Madeiras – Res. Alto de Dom Luís [34] .....	54
Figura 52 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Curvaceiras – Res. de Soudos .....	54
Figura 53 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Madeiras – Res. de Alto de D. Luís .....	55
Figura 54 – Áreas do conhecimento necessárias para projetar, executar e manter um sistema elevatório .....	56
Figura 55 – Sistemas elevatórios: componentes de avaliação para se assegurar a sua fiabilidade .....	57
Figura 56 – Metodologia antiga de alinhamento de motor com bomba (adaptado de [36]) .....	58
Figura 57 – Metodologia atual, com recurso a laser para alinhamento de motor com bomba [37] .....	58

Figura 58 – Exemplo de circuitos hidráulicos de aspiração de bombas (adaptado de [38]) .....	59
Figura 59 – INSP_03-1 EE Curvaceiras – Soudos: Grupo 2 .....	60
Figura 60 – INSP_04 - Avaliação da abertura da bomba do Grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos .....	62
Figura 61 – INSP_05-1 - Avaliação de revestimentos da bomba do Gr. 2 da EE Curvaceiras - Soudos .....	62
Figura 62 –INSP_03-1- EE Curvaceiras – Soudos: Gr. 2 (após intervenção de manutenção) .....	63
Figura 63 –INSP_02-2 - EE Curv. – Soudos: Grupo 2 – Avaliação termográfica.....	65
Figura 64 – Termografia ao motor do grupo 2 da EE Madeiras .....	68
Figura 65 - Voluta.....	69
Figura 66 – Caixa e zona do empanque.....	69
<i>Figura 67 - Impulsor .....</i>	<i>69</i>
Figura 68 – Elemento primário do medidor de caudal após colocação em serviço .....	70
Figura 69 – Chapa de característica do elemento primário do medidor de caudal .....	70
Figura 70 – Registos fotográficos da voluta da bomba após aplicação de revestimento .....	71
Figura 71 – Motor WEG na receção na EPAL .....	73
Figura 72 – Motor WEG na adaptação do chassis .....	73
<i>Figura 73 – Motor WEG instalado na EE Madeiras Grupo 2 .....</i>	<i>73</i>
Figura 74 – Processo de alinhamento (2-8-2023) .....	75
Figura 75 - Processo de alinhamento.....	75
Figura 76 – Termografia ao motor da EE de Madeiras – Grupo 2 (INSP_02-2).....	77
Figura 77 – Termografia à bomba da EE de Madeiras – Grupo 2 (INSP_02-2).....	77
Figura 78 – Termografia de reavaliação de temperatura do rolamento .....	77
Figura 79 – INSP_02-2 EE Curv. – Soudos: Gr. 4 – Bomba - avaliação termográfica .....	79
Figura 80 – Termografia à caixa de rolamentos da bomba do grupo 4 da EE Curvaceiras .....	80
Figura 81 – INSP_05-1 com imagens do revestimento da voluta da bomba .....	80
Figura 82 – INSP_05-1 com imagens do revestimento do impulsor .....	80
Figura 83 – INSP_05-1 com gráfico das medidas de rugosidades do revestimento no impulsor .....	81
Figura 84 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 1 – 1ª geração de indicadores (2004) [15]	
Figura 85 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 19 – 2ª geração de indicadores (2013) [41]	
Figura 86 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 22 – 3ª geração de indicadores (2022) [42]	
Figura 87 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 27 – 4ª geração de indicadores (2023) [43]	
Figura 88 – Evolução temporal da imposição das classes de eficiência (adaptado de [44])	
Figura 89 – Classes de eficiência e rendimentos nominais (adaptado de [11])	
Figura 90 – Classes de eficiência (IE3 e IE4) e rendimentos nominais (adaptado de [11])	
Figura 91 – Eficiência de uma bomba de um estágio em função da velocidade específica e do caudal [45]	
Figura 92 – Modelo de regulação e supervisão da ERSAR (adaptado de [43])	
Figura 93 – Movimento unidirecional e força de arrastamento (adaptado de [18])	
Figura 94 – Motor de indução – circuito equivalente (adaptado de [22])	
Figura 95 – Motor de indução – circuito equivalente [22]	
Figura 96 – Característica Binário-Escorregamento [22]	
Figura 97 – Curvas tipo características de bombas centrífugas [46]	
Figura 98 – Sensores de corrente e sensores de pressão do Fluke 438 II	
Figura 99 – Sensores de corrente, sensores de pressão e analisador de energia Fluke 438 II	
Figura 100 – Localizações de derivações para instalação de sensores de pressão [46]	
Figura 101 – Ligação de sensores de corrente e sensores de pressão ao analisador de energia [48]	
Figura 102 – Avaliação de velocidade na APP que fica disponível por comunicação bluetooth	
Figura 103 – SKF Quick Collect CMDT 391	
Figura 104 – Avaliação de velocidade na APP que fica disponível por comunicação bluetooth	
Figura 105 – Descritivo da câmara termográfica utilizada	
Figura 106 – Manual de instruções Fluke Ti300+ [49]	
Figura 107 – Imagem satélite Google da EE de Curvaceiras	
Figura 108 – Certificado dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Curvaceiras	
Figura 109 – Resultados dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Curvaceiras	
Figura 110 – Curvas com os resultados dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Curvaceiras	
Figura 111 – Chapa de características da bomba do grupo 2 de elevação para Soudos da EE Curvaceiras	
Figura 112 – EE Curvaceiras: Chapa de características de motor elétrico	
Figura 113 – EE Curvaceiras – Grupos 2, 3 e 4	
Figura 114 – Avaliação de variáveis de operação EE Curvaceiras (valores de nível mínimo do reservatório)	
Figura 115 – Avaliação de variáveis de operação EE Curvaceiras (valores de nível máximo do reservatório)	
Figura 116 – Reservatório de Curvaceiras com fissura visível em todo o perímetro	

- Figura 117 – Imagem satélite Google da EE de Madeiras  
 Figura 118 – Sala dos grupos elevatórios da estação elevatória de Madeiras (abril de 2016)  
 Figura 119 – Reservatório e estação elevatória de Madeiras  
 Figura 120 – Memória descritiva da empreitada da construção da EE de Madeiras  
 Figura 121 – Curvas com os resultados dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Madeiras  
 Figura 122 – Sala dos grupos elevatórios da estação elevatória de Madeiras (julho de 2016)  
 Figura 123 – Sala dos grupos elevatórios da estação elevatória de Madeiras (agosto de 2023)  
 Figura 124 – Informação de histórico retirada do SCADA (1290h variação de nível)  
 Figura 125 – Informação de histórico retirada do SCADA (290h melhoria na variação de nível)  
 Figura 126 – Indicadores de nível e de pressão (Res. Madeiras 22AGO2023 10h36m)  
 Figura 127 – Interior do Res. de Madeiras (22AGO2023 10h39m)  
 Figura 128 – Desenho em corte do Res. de Madeiras e circuitos hidráulicos associados [50]  
 Figura 129 – Resultado das manutenções corretivas

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Motores de eficiência super premium com 1, 2, 3 e 4 pares de polos (adaptado de [11]).....	10
Tabela 2 – Intervalos considerados para caracterizar o desempenho das instalações [15] .....	16
Tabela 3 – Valores de energia elétrica declarados pelas EG com cálculo de potencial de poupança.....	18
Tabela 4 – Variação da tensão do vapor de água com a temperatura [18].....	23
Tabela 5 – Longevidade estimada de impulsores de bombas em função do material [25].....	37
Tabela 6 – Folgas mínimas em função do diâmetro do anel de desgaste (adaptado de [30]) .....	45
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de calibração em fábrica.....	70
Tabela 8 – Cálculo de constante para correção de resultados obtidos .....	71
Tabela 9 – Resumo dos ganhos obtidos nas intervenções .....	84
Tabela 10 – Custos das intervenções e resultados de desempenho antes das intervenções .....	87
Tabela 11 – Resultados das intervenções (assumindo o mesmo volume elevado) .....	88
<i>Tabela 12 – Avaliação dos períodos de retorno .....</i>	<i>89</i>
Tabela 13 – Avaliação do projeto de manutenção da bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos.....	90
Tabela 14 – Avaliação do projeto de manutenção da bomba do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís .....	90
Tabela 15 – Avaliação do projeto de manutenção do motor do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís .....	91
Tabela 16 – Avaliação do projeto de manutenção da bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos.....	91
<i>Tabela 17 – Cálculo da TIR para o projeto da bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 18 – Cálculo da TIR para o projeto da bomba do grupo 4 da EE Curvaceiras - Soudos .....</i>	<i>92</i>
Tabela 19 – Cálculo da TIR para o projeto da bomba do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís.....	93
Tabela 20 – Cálculo da TIR para o projeto do motor do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís.....	93
Tabela 21 – Cálculo de $H_{BEP}$ para determinação de ponto de melhor rendimento de bombas	
Tabela 22 – Valores de rendimento para motores e bombas novas e para bombas degradadas	
<i>Tabela 23 – Valores de rendimento para grupos eletrobomba novos e após degradação</i>	
Tabela 24 – Conversão de indicador ERSAR AA16 <sub>ab</sub> em rendimento médio de instalações	
Tabela 25 – Número de EGs com e sem indicador em 2021	
Tabela 26 – Qualidade do indicador ERSAR agrupado em cinco categorias	
Tabela 27 – EG em baixa: qualidade do indicador de eficiência energética	
Tabela 28 – EG em alta: qualidade do indicador de eficiência energética	
Tabela 29 – EG em alta certificadas segundo a norma EN 50 001	
Tabela 30 – EG em baixa certificadas segundo a norma EN 50 001	
Tabela 31 – Empresas em “Alta” com certificação energética (ISO 50001)	
Tabela 32 – Variação da viscosidade da água com a temperatura [18]	
Tabela 33 – Informação geral da estação elevatória de Curvaceiras	
Tabela 34 – Informação geral da estação elevatória de Madeiras	
Tabela 35 – Resultados dos ensaios em fábrica do grupo eletrobomba	

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

Os sistemas de bombagem (movimentação de fluidos líquidos) representam atualmente um papel central nas operações de diferentes tipos de processos. Mais concretamente podem referir-se indústrias como de combustíveis, petroquímica, geração de energia elétrica, produção e distribuição de água, processamento alimentar, farmacêutica, aço, papel, etc. Um estudo do departamento de energia dos Estados Unidos da América indica que os sistemas de bombagem representam cerca de 20% do total do consumo de energia elétrica nestas indústrias [1].

No caso específico da indústria da água potável, no que concerne exclusivamente ao transporte e à distribuição, o consumo associado à bombagem pode assumir valores superiores a 90% do consumo total de energia elétrica de uma instalação (Gráfico - 1).

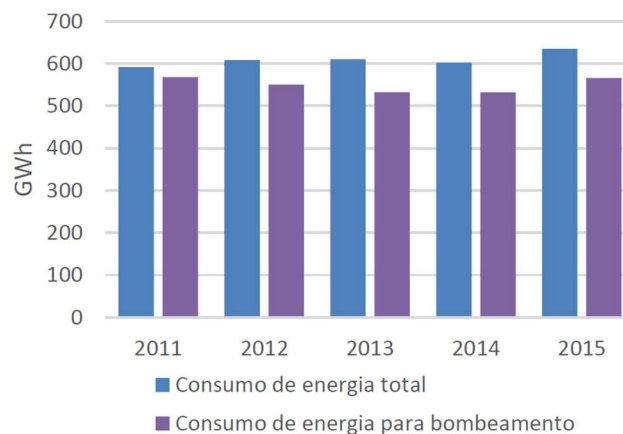


Gráfico - 1 – Consumo de energia elétrica anual no abastecimento de água em Portugal (total e para elevação) (<https://www.ersar.pt/publicacoes/publicacoes-tecnicas/guias>) [2]

Neste âmbito, a nível internacional, existem enquadramentos distintos ao nível da organização dos setores da água e respetivas regulações. Na Europa, América do Norte e em alguns países da Oceânia, pode-se dizer que o setor da água está num estágio de desenvolvimento superior, face ao resto do mundo, nomeadamente no que diz respeito ao controlo da qualidade da água para consumo humano. A qualidade da água, para além de traduzir processo de tratamento e transporte adequados, implica igualmente o cumprimento de diversos requisitos ao nível de materiais e de práticas. É natural que haja um conjunto de organismos com reconhecimento internacional que sejam orientadores para o setor em todo o mundo. A este nível devem ser

destacados alguns organismos, empresas e associações muito relevantes neste setor e para a conceptualização deste trabalho:

- AWWA (*American Water Works Association*) - É uma sociedade internacional, sem fins lucrativos, científica e educacional dedicada a fornecer soluções globais de água, que garantam a sua gestão eficaz. Fundada em 1881, é a maior organização de profissionais de abastecimento de água do mundo. Esta associação inclui mais de 4 300 empresas públicas que fornecem cerca de 80% da água potável nos Estados Unidos da América (EUA) e tratam quase metade das águas residuais do país. Os cerca de 51 000 membros da Associação representam todo o espectro do setor da água: sistemas públicos de abastecimentos de água potável e tratamento das águas residuais, defensores do meio ambiente, cientistas, académicos e outras pessoas que têm um interesse genuíno neste setor. A AWWA também ajuda a estabelecer organizações proeminentes: *Water Research Foundation* em 1966, a *Water For People* em 1991 e a *Water Equation* em 2015. A AWWA une a comunidade diversificada da água para promover a saúde pública, a segurança, a economia, a força de trabalho da água e o meio ambiente. São ainda preocupações da Associação: oferecer educação aos profissionais da água; defender uma água segura e sustentável; recolher e partilhar conhecimento; criar oportunidades de voluntariado [3];
- IWA (*Internacional Water Association*) – É uma associação com membros em 140 países por todo o mundo, formando uma enorme rede internacional de profissionais do setor da água. Promove a inovação e é orientada para soluções e serviços, trabalhando os seus membros numa série de áreas que contribuem para o progresso da gestão da água em todo o mundo. As ideias e estratégias para os desafios do setor são fomentadas e rigorosamente debatidas entre as instituições e membros da IWA. A Associação é uma plataforma aberta, mas regrada, na qual tanto inovadores como tecnólogos convivem num ambiente saudável e progressista, visando a aplicação de *benchmarking* entre os associados. Disponibiliza programas que desenvolvem a investigação e projetos orientados para as necessárias soluções para o setor das águas e das águas residuais. Organiza eventos mundialmente reconhecidos que visam a apresentação das melhores práticas científicas e tecnológicas. Tem efetivamente um papel importante para colocar o setor da água na agenda política global e assim influenciar as melhores práticas em matéria de regulamentação e elaboração de políticas [4];
- WQA (*Water Quality Association*) – Originária dos EUA é uma associação sem fins lucrativos para a indústria de tratamento de água nos setores: residencial, comercial e

industrial. A WQA representa mais de 2.500 empresas associadas em todo o mundo. A associação é composta por fabricantes de equipamentos, fornecedores, revendedores e distribuidores de produtos e serviços para a melhoria da qualidade da água. Através do seu Programa de Certificação de Produtos com Selo Ouro, a WQA oferece um programa de certificação para ajudar os fabricantes a garantir que seus produtos estejam em conformidade com padrões de segurança e desempenho. Disponibilizam a fabricantes, avaliações independentes e certificação de acordo com referenciais normativos para uma variedade de produtos de tratamento de água potável, que incluem testes laboratoriais rigorosos, revisão de manuais e procedimentos e avaliação de materiais. Também ao nível dos profissionais do setor a WQA faz reconhecimento de competências conforme Figura 1 [5];



Figura 1 – WQA – Certificação profissional [5]

- WRAS (*Water Regulations Approval Scheme*) - É um organismo de certificação independente, sediado no Reino Unido, que tem como objetivo avaliar e validar produtos e materiais para condutas e para aplicação no setor da água, ajudando empresas e consumidores na escolha dos produtos para aplicação no setor da água potável [6].

Em Portugal continental as atividades de captação, tratamento, transporte e distribuição de água potável são atividades reguladas pela ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos). Esta entidade reguladora defende os direitos dos utilizadores dos serviços e assegura a sustentabilidade económica das entidades gestoras, executando duas missões distintas e complementares: (i) regulador dos setores de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos; (ii) autoridade competente para a qualidade da água para consumo humano [7].

O ciclo urbano da água (Figura 2) está entregue a EG de serviços de água e saneamento. Os sistemas dividem-se nas entidades “em alta” (Figura 3) que captam, tratam e transportam grandes volumes de água e as entidades “em baixa”, que distribuem e comercializam a água diretamente ao consumidor final.

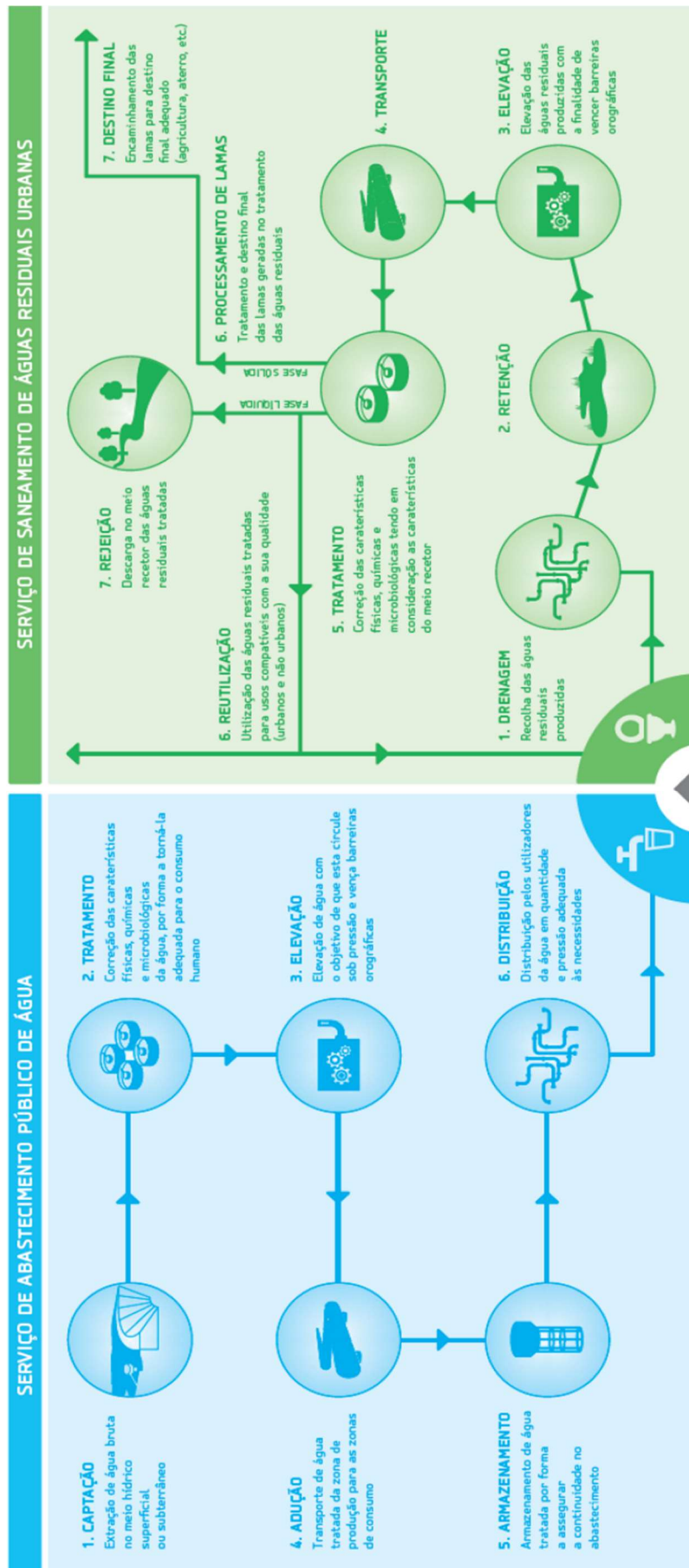


Figura 2 – Ciclo urbano da água (produção de água e saneamento respetivo) [2]

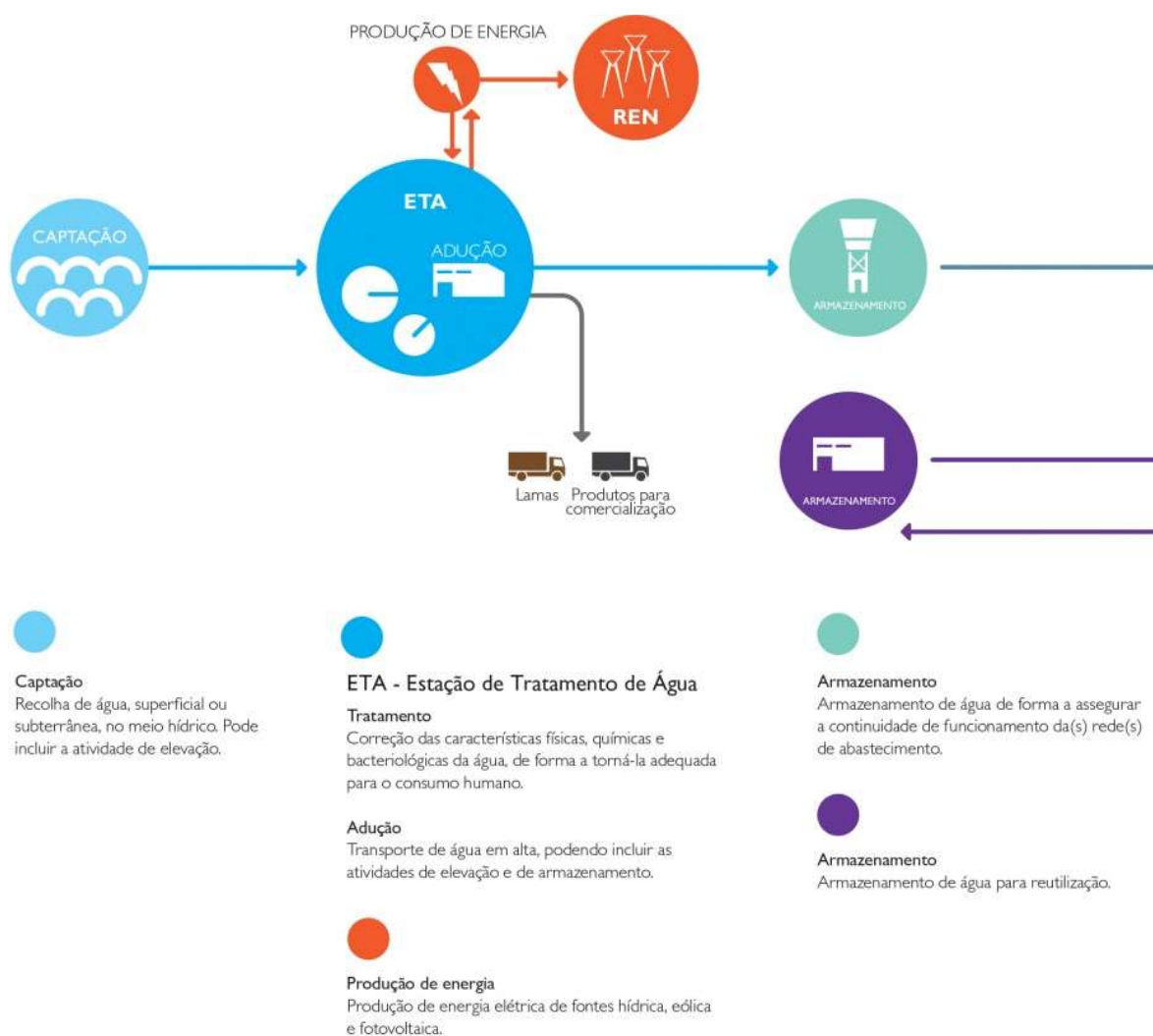


Figura 3 – Caracterização do sistema de produção de água e de energia elétrica (<https://www.adp.pt/pt/atividade/o-que-fazemos/?id=26>) [8]

Por questões políticas (divisão do território em 308 Municípios, 278 dos quais no continente) e geográficas (dispersão ao longo do território continental e regiões autónomas) estas atividades e as EG, que estão distribuídas por todo o território, nem sempre conseguem atingir ou manter um elevado nível de profissionalização, que se coadune com os níveis técnicos que estes tipos de indústrias exigem. Essencialmente é praticamente impossível reter *know-how* técnico, que permita a aplicação sustentada de boas estratégias de gestão da manutenção, salvaguardando assim a fiabilidade de equipamentos bem como a ininterruptibilidade dos serviços.

A identificação das oportunidades de melhoria na atuação da gestão de manutenção das EG, deve ser encarada como uma mais-valia no cumprimento das metas ambientais internacionalmente impostas, bem como um importante passo para sua gestão económica.

Com a recente (2015) reorganização geográfica de jurisdição a que a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL) foi sujeita, encontraram-se grupos eletrobomba, com perdas globais de rendimento superiores a 50%, face ao seu rendimento em fábrica. Este tipo de situação é infelizmente recorrente em Portugal no setor da água, com todas as repercussões que daí advêm, não só para a boa gestão do recurso primário, mas também para a pegada energética que cada m<sup>3</sup> de água tem na sua disponibilização a cada consumidor.

Neste trabalho avaliar-se-á o funcionamento de grupos eletrobomba, resultando daí os critérios para adoção de medidas de correção e de melhoria, com o objetivo de otimizar quer a vida útil quer o desempenho dos equipamentos.

Considera-se que no âmbito desta indústria é fulcral que se consiga salientar e quantificar, o retorno, quer do ponto de vista ambiental quer do ponto de vista económico, de uma melhor gestão dos maiores responsáveis pelo consumo de energia elétrica no setor, ou seja, os grupos eletrobomba.

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho incidirá em intervenções de manutenção preventiva de grupos eletrobomba atualmente em serviço na indústria da água.

Pretende-se acompanhar três intervenções de manutenção em grupos eletrobomba de água potável. As intervenções são desenvolvidas faseadamente, avaliando-se primeiro o sistema elevatório como um todo. Após esta primeira triagem, desenvolvem-se os controlos de condição e desempenho dos grupos eletrobomba, para permitir fazer uma comparação antes e depois das intervenções. De seguida realizam-se as intervenções de manutenção às bombas, com especial foco na metodologia e nos revestimentos a aplicar. Finalizando-se as intervenções em oficina, as bombas são repostas nas instalações e repetem-se os ensaios de controlo de condição e de desempenho. Com a finalização das três intervenções, é possível comparar metodologias e fazer a respetiva avaliação económica.

É uma prioridade que sejam desenvolvidos modelos de inspeção, que constituam a base de avaliação das diferentes etapas do processo, devendo os mesmos ser aproveitados no futuro para integrar um verdadeiro processo de gestão de manutenção na EPAL.

### 1.3 Motivação

Na indústria da água os grupos eletrobomba são certamente os equipamentos com maior número de horas de funcionamento e de maiores valores de potência, exigindo assim maior acompanhamento em termos de estratégias de operação e gestão da manutenção. Consequentemente representam igualmente o maior consumidor de energia elétrica nesta indústria, podendo ser ainda os ativos de maior custo de investimento na aquisição. Sem estes equipamentos não é possível entregar água ao consumidor final, sendo por isso equipamentos críticos, em qualquer uma das zonas onde se encontram nos sistemas.

Pelo exposto é imprescindível saber gerir globalmente o ciclo de vida destes ativos, quer na vertente de otimização da sua vida útil, bem como da manutenção do nível de desempenho dentro de valores que minimizem a função de custo de energia e de manutenção.

No enquadramento da EPAL, por existirem instalações consumidoras intensivas de energia, é natural que o foco recaia mormente nestas localizações, sendo comum as intervenções de manutenção de bombas e motores de potência elevada, focadas na recuperação de rendimento. No Gráfico 2 apresentam-se curvas características de uma bomba centrífuga, indicando o *Best Efficiency Point* (BEP), para o caso de uma voluta sem revestimento e com revestimento. Para a situação do presente trabalho pretende-se focar as situações que, embora apresentem menor peso ao nível do consumo energético, podem pôr em causa pontos de entrega importantes e representarem perdas económicas relevantes e facilmente evitáveis.

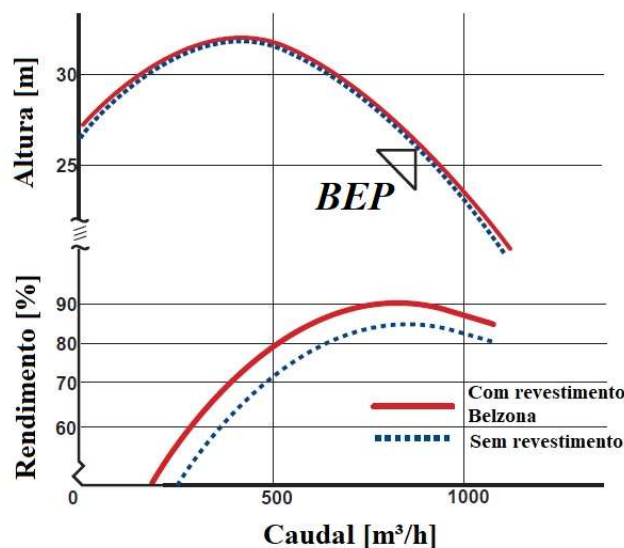


Gráfico 2 – Desempenho de bomba não revestida com bomba revestida com produto da marca Belzona (adaptado de [9])

O trabalho de avaliação e quantificação de ganhos prováveis após intervenção de manutenção, face a uma determinada situação atual, é uma ferramenta vital para apoio à decisão de gestão

da manutenção. Este mesmo conceito pode e deve ser estendido, no futuro, para outras tipologias de equipamentos e instalações que, quer pelo consumo de energia quer pelo risco que podem representar algumas falhas, podem pôr em causa o normal abastecimento de água às populações.

O estudo a desenvolver, por visar o impacto direto na eficiência de elevação de água e diminuição da tendência de degradação dos ativos, constitui um fator de influência no cumprimento das metas estabelecidas a nível nacional e internacional da descarbonização da economia (Acordo de Paris e Roteiro para a neutralidade carbónica 2050).

#### 1.4 Estrutura do trabalho

Após a Introdução no Capítulo 1, no Capítulo 2 aborda-se o conceito de Indústria da água e seus desafios do século XXI, na perspetiva de avaliação de consumos energéticos na elevação de água, impacto ambiental e metas futuras.

No Capítulo 3, numa vertente mais teórica, estudam-se as variáveis de influência no desempenho de grupos eletrobomba, como forma de preparação do trabalho de campo do capítulo seguinte.

A componente prática do controlo de condição dos grupos eletrobomba é realizada no Capítulo 4, com medição de vibrações, termografia e avaliação do desempenho energético dos equipamentos, tendo como referência os valores de ensaio em fábrica e comparando-os com os valores obtidos antes e depois das intervenções de manutenção. A avaliação económica das intervenções é realizada, quantificando os benefícios obtidos.

No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões de todo o trabalho desenvolvido, com algumas sugestões para complementar e aprofundar o presente estudo, em desenvolvimentos futuros. A avaliação do impacto das melhorias da manutenção calcula-se extrapolando-se os resultados obtidos como o potencial impacto deste tipo de políticas em termos de gestão da manutenção na indústria da água.

Após o Capítulo 5 descrevem-se as imprescindíveis Referências bibliográficas que permitiram apreender e desenvolver imenso conhecimento sobre este tema, sendo seguidas dos Anexos que contêm os documentos de suporte a este trabalho.

## 2 A gestão de energia, a indústria da água e seus desafios para o século XXI

Ao nível internacional, principalmente no continente europeu, essencialmente nas últimas duas décadas, têm vindo a ser desenvolvidas múltiplas iniciativas visando a otimização dos consumos energéticos de motores e de bombas. Também em Portugal tem-se assistido a muitos incentivos à consciencialização generalizada da importância da gestão de energia. São bons exemplos do atrás mencionado, na indústria, o Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE) de 1982 e o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) de 2008. Ao nível dos edifícios os pioneiros Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) de 2006, com todas as atualizações que têm vindo a ser aplicadas. Mais recentemente, na administração pública o ECO.AP 2030 de 2020 que promove a eficiência e simultaneamente a produção de energia elétrica. Com influência direta na indústria da água apresentam-se de seguida algumas referências que devem também contribuir para otimização do consumo energético na gestão da elevação de água.

### 2.1 Eficiência energética – Diretivas e regulamentos da UE

A 21 de outubro de 2009 foi estabelecida uma estrutura para os requisitos de design ecológico para produtos relacionados à energia.

Em maio de 2017, a Comissão do Ambiente, da Saúde Pública e da Segurança Alimentar (ENVI) do Parlamento Europeu solicitou a criação de um quadro para definir os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia.

Mais tarde, em outubro de 2019 é publicado o regulamento que estabelece requisitos de conceção ecológica para a colocação no mercado e a entrada em serviço de motores elétricos e variadores de velocidade, incluindo quando integrados noutros produtos.

A linha cronológica de publicação é apresentada na Figura 4.



Figura 4 – Cronologia de publicação de Diretivas e Regulamentos da UE de índole de eficiência energética

Para motores elétricos, são estabelecidos prazos para que sejam asseguradas eficiências mínimas em função da potência, do número de pares de polos e do tipo de motor. Na Figura 5 apresentam-se os índices de eficiência mínima de motores elétricos trifásicos, em função do número de polos, que ficaram disponíveis a partir de 1 de julho de 2023. Percebe-se que para potências entre os 75 kW e os 200 kW, até um máximo de 6 polos, os motores IE4 são os menos eficientes a serem comercializados. Até aos 0,75 kW o mínimo de eficiência disponível em motores trifásicos são os IE2. Para potências superiores a 0,75 kW, os motores trifásicos com menor eficiência serão os IE3, com exceção do anteriormente descrito para as potências entre 75 kW e 200 kW.

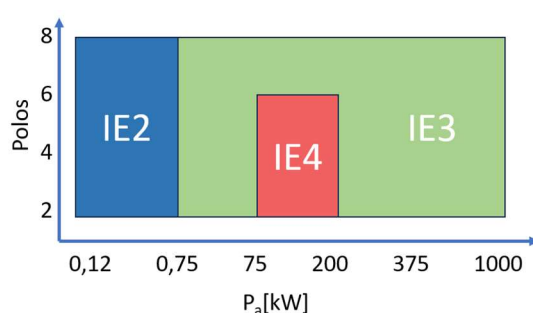


Figura 5 – Eficiência mínima obrigatória para motores elétricos trifásicos (adaptado de [10])

É relevante consubstanciar o descrito anteriormente, com informação do que o mercado disponibiliza atualmente, em termos de eficiência máxima, para motores de diferentes potências e diferentes números de pares de polos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Motores de eficiência super premium com 1, 2, 3 e 4 pares de polos (adaptado de [11])

Potência [kW]	Eficiência (motores IE4)			
	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
4	90,0	91,1	89,5	87,1
5,5	90,9	91,9	90,5	88,3
7,5	91,7	92,6	91,3	89,3
11	92,6	93,3	92,3	90,4
15	93,3	93,9	92,9	91,2
18,5	93,7	94,2	93,4	91,7
22	94,0	94,5	93,7	92,1
30	94,5	94,9	94,2	92,7
37	94,8	95,2	94,5	93,1
45	95,0	95,4	94,8	93,4
55	95,3	95,7	95,1	93,7
75	95,6	96,0	95,4	94,2
90	95,8	96,1	95,6	94,4
110	96,0	96,3	95,8	94,7
132	96,2	96,4	96,0	94,9
160	96,3	96,6	96,2	95,1
200	96,5	96,7	96,3	95,4
250	96,5	96,7	96,5	95,4
315	96,5	96,7	96,6	95,4
355	96,5	96,7	96,6	95,4
400	96,5	96,7	96,6	95,4

Constata-se que os motores de 4 polos são os que permitem, em regra, obter a melhor eficiência disponível no mercado.

## 2.2 Acordo de Paris [12]

A convenção de Paris ocorreu a 12 de dezembro de 2015 é promovida pela ONU e foca-se nas alterações climáticas. Entre outros assuntos discutidos e desenvolvidos destacam-se:

- i. Necessidade de profundas reduções nas emissões globais;
- ii. A mudança climática como uma preocupação da humanidade;
- iii. Assegurar trajetórias das emissões agregadas consistentes com aumento da temperatura média global inferior a 2 °C acima dos níveis pré-industriais;
- iv. Promoção da resiliência climática e o desenvolvimento de baixo carbono.

Com objetivo de se poder alcançar as metas definidas, as partes que assinaram o acordo vinculam-se a um conjunto permanente de ações que visam a cooperação nos mais variados assuntos que possam influenciar a mitigação das alterações climáticas e seus efeitos. Para além de preocupações financeiras com foco nos países em desenvolvimento, estão também previstas medidas que pretendem sustentar a transferência e desenvolvimento de tecnologia, o desenvolvimento de capacidades e o suporte na ação transparente.

## 2.3 Roteiro para a neutralidade carbónica - RNC2050 [13]

O Roteiro para a Neutralidade Carbónica foi desenvolvido em alinhamento com a dimensão territorial espelhada no Programa Nacional de Políticas de Ordenamento do Território e incorporando as orientações do Plano de Ação para a Economia Circular.

Atingir a neutralidade carbónica em Portugal implica reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em mais de 85 %, em relação a 2005, e garantir uma capacidade de sequestro agrícola e florestal de carbono na ordem dos 13 milhões de toneladas. Sendo Portugal um dos países potencialmente mais afetado pelas alterações climáticas, garantir uma agricultura e uma floresta sustentáveis e resilientes e combater a desertificação são os maiores desafios que enfrentamos, embora fundamentais para assegurar a neutralidade, a coesão territorial e a proteção da biodiversidade.

O Governo português comprometeu-se em 2016 a assegurar a neutralidade das suas emissões até ao final de 2050, traçando uma visão clara relativamente à descarbonização profunda da economia nacional, enquanto contributo para o acordo de Paris e em consonância com os esforços mais ambiciosos em curso a nível internacional.

A concretização desta visão estratégica assenta em oito premissas fundamentais, descritas em maior detalhe nas secções seguintes:

- a) Promover a transição para uma economia competitiva, circular, resiliente e neutra em carbono, gerando mais riqueza, emprego e bem-estar;
- b) Identificar vetores de descarbonização e linhas de atuação subjacentes a trajetórias para a neutralidade carbónica em 2050;
- c) Contribuir para a resiliência e para a capacidade nacional de adaptação às vulnerabilidades e impactes das alterações climáticas;
- d) Estimular a investigação, a inovação e a produção de conhecimento em áreas-chave para a concretização do objetivo da neutralidade carbónica;
- e) Garantir condições de financiamento e aumentar os níveis de investimento;
- f) Assegurar uma transição justa e coesa que contribua para a valorização do território;
- g) Garantir condições eficazes de acompanhamento do progresso alcançado rumo ao objetivo da neutralidade carbónica (governação) e assegurar a integração dos objetivos de neutralidade carbónica nos domínios setoriais;
- h) Envolver a sociedade nos desafios das alterações climáticas, apostando na educação, informação e sensibilização, contribuindo para aumentar a ação individual e coletiva.

## 2.4 Estratégia de Portugal para 2030 [14]

A Estratégia Portugal 2030 é o referencial principal de planeamento das políticas públicas de promoção do desenvolvimento económico e social de Portugal, com objetivos descritos na Figura 6.



Figura 6 – «Estratégia para o Plano de Recuperação Económica de Portugal 2020-30» (adaptado de [14])

Estabelece que a coordenação global e a monitorização da Estratégia são asseguradas pelo membro do Governo responsável pela área do planeamento. Determina que a Estratégia assenta nas seguintes quatro agendas:

- a) As pessoas primeiro: um melhor equilíbrio demográfico, maior inclusão, menos desigualdade;
- b) Digitalização, inovação e qualificações como motores do desenvolvimento;
- c) Transição climática e sustentabilidade dos recursos;
- d) Um país competitivo externamente e coeso internamente.

## 2.5 ERSAR - indicadores de desempenho de grupos eletrobomba

Em Portugal, a ERSAR acompanha um vasto conjunto de indicadores para permanente avaliação das EG. Os valores dos indicadores devem ser reportados ao ERSAR, anualmente, por todas as EG.

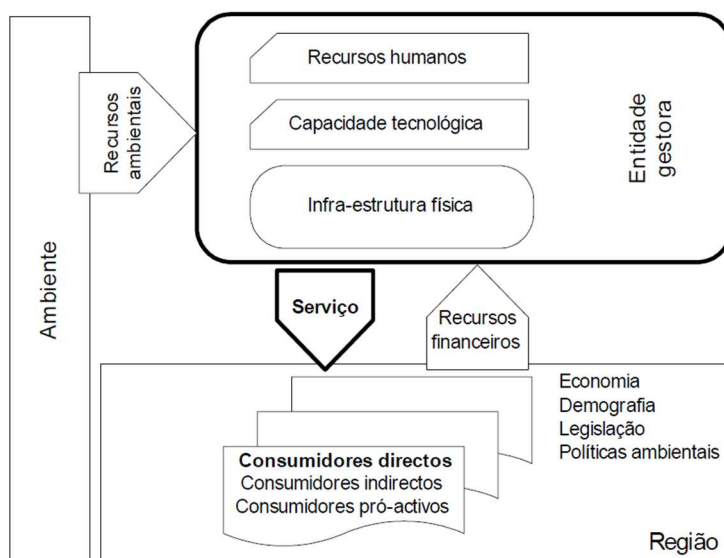


Figura 7 – Contexto das EG [15]

O primeiro guia de indicadores, publicado em 2004 pelo antigo regulador IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos, estabeleceu um conjunto alargado de indicadores de desempenho de apoio à gestão “no sentido de uma crescente eficácia e eficiência dos serviços”[15]. Pretende-se assim possibilitar a comparação do desempenho das entidades gestoras, com base num conjunto de métricas que se pretende serem semelhantes. Os indicadores de desempenho foram agrupados pelas seguintes tipologias:

- Indicadores de recursos hídricos (WR);
- Indicadores de recursos humanos (Pe);
- Indicadores infra-estruturais (Ph);
- Indicadores operacionais (Op);

- Indicadores de qualidade de serviço (QS);
- Indicadores económico-financeiros (Fi).

A este nível tem havido alguma evolução, alargando e adequando algumas metodologias de cálculo, visando a adequação com a realidade das EG e com o pretendido pela ERSAR.

Os indicadores específicos que constituem os agrupamentos acima descritos, destinam-se a poder ser realizada uma avaliação global das entidades, sendo naturalmente pesados em função da sua importância/criticidade, previamente estabelecida, para garantir um serviço com qualidade no abastecimento ao consumidor.

Para a avaliação de desempenho na elevação de água foram estabelecidos 4 indicadores:

- Ph4 - Utilização da capacidade de bombeamento (%);
- Ph5 - Consumo de energia normalizado (kWh/m<sup>3</sup>/100 m);
- Ph6 - Consumo de energia reactiva (%);
- Ph7 - Recuperação de energia (%).

Percebe-se facilmente que o indicador Ph4 tem como objetivo avaliar a capacidade de elevação face à procura. O indicador Ph6 avalia se existem preocupações na compensação de fator de potência, com objetivo de evitar perdas económicas que advêm da penalização do distribuidor de energia elétrica. O indicador Ph7 traduzia a recuperação de energia pelo uso de turbinas ou de bombas de eixo reversível, pretendia transparecer a capacidade das entidades na produção de energia. No âmbito deste trabalho o indicador que importa destacar é Ph5 – Consumo de energia normalizado a 100m. Este indicador calcula-se assegurando a medição da energia total consumida nas estações elevatórias, o volume elevado, a altura manométrica de elevação, todas as variáveis avaliadas durante um período de referência.

$$Ph5 = \frac{D1}{D3} = \frac{D1}{V \cdot H_m} \cdot 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Ph5 – Indicador de desempenho energético da ERSAR – Consumo de energia normalizado

D1 - Consumo de energia para elevação [kWh]

D3 - Fator de uniformização [m<sup>3</sup> x 100 m]

V – Volume elevado [m<sup>3</sup>]

H<sub>m</sub> – Altura manométrica da elevação [m]

Este indicador relaciona-se inversamente com eficiência média de elevação de uma dada instalação.

Na quarta versão do Guia de avaliação da qualidade de serviços, cujos indicadores se apresentam na Figura 8, publicado a 31 janeiro de 2023 pela ERSAR, este indicador surge agora associado à sustentabilidade ambiental – eficiência na utilização de recursos ambientais,

tendo a designação de AA16<sub>ab</sub>, mas mantendo a fórmula de cálculo e naturalmente a intenção de ser relacionado com a eficiência da instalação.

INDICADORES DA QUALIDADE DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	Adequação da interface com o utilizador	<p><b><u>Acessibilidade do serviço aos utilizadores</u></b>            AA01 - Acessibilidade física do serviço (%)            AA02 - Acessibilidade económica do serviço (%)</p> <p><b><u>Qualidade do serviço prestado aos utilizadores</u></b>            AA03 - Ocorrência de falhas no abastecimento ([n.º/(ponto de entrega.ano)] ou [n.º/(1000 ramais .ano)])            AA04 - Água segura (%)            AA05 - Resposta a reclamações, sugestões e pedidos de informação (%)</p>
	Sustentabilidade da gestão do serviço	<p><b><u>Sustentabilidade económica</u></b>            AA06 - Cobertura dos gastos (%)            AA07 - Adesão ao serviço (%)            AA08 - Água não faturada (%)</p> <p><b><u>Sustentabilidade infraestrutural</u></b>            AA09 - Reabilitação de condutas (%/ano)            AA10 - Ocorrência de avarias em condutas ([n.º/(100 km.ano)])            AA11 - Utilização da infraestrutura de tratamento (%)</p> <p><b><u>Produtividade física dos recursos humanos</u></b>            AA12 - Adequação dos recursos humanos na adução e tratamento (n.º/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.ano)            AA13 - Adequação dos recursos humanos no tratamento de água (n.º/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.ano)            AA14 - Adequação dos recursos humanos na distribuição de água [n.º/(1000 ramais.ano)]</p>
	Sustentabilidade ambiental	<p><b><u>Eficiência na utilização de recursos ambientais</u></b>            AA15 - Perdas reais de água [m<sup>3</sup>/(km.dia)] ou [l/(ramal.dia)]            AA16 - Eficiência energética de instalações elevatórias [kWh/(m<sup>3</sup>.100m)]            AA17 - Produção de lamas de tratamento (kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><b><u>Circularidade e valorização</u></b>            AA18 - Produção própria de energia (%)</p>

Figura 8 – Sistema da ERSAR para acompanhamento do desempenho de EG – 4ª Geração (adaptado de [16])

O cálculo do rendimento de uma instalação de elevação, em valores médios, é dado por:

$$\eta_{instalação} = \frac{E_{hidráulica}}{E_{fornecida}} = \frac{Q \cdot h_{man} \cdot \rho \cdot g \cdot t}{E_{fornecida}} \quad (\text{Equação 2})$$

Fazendo a conversão para que o caudal seja em m<sup>3</sup>/h, ficando na mesma unidade do denominador [kWh]:

$$\eta_{instalação} = \frac{E_{hidráulica}}{E_{fornecida}} = \frac{V \cdot h_{man}}{E_{fornecida}} \cdot \frac{1000 \cdot 9,81}{1000 \cdot 3600} = \frac{0,002725}{AA16_{ab}} \quad (\text{Equação 3})$$

Ou, em alternativa, em ordem ao indicador da ERSAR:

$$(AA16_{ab})' = \frac{0,002725}{(\eta_{instalação})_{médio}} \quad (\text{Equação 4})$$

Neste caso o indicador estaria a avaliar o consumo de energia em kWh para elevar a 1 m de altura pelo que se faz a multiplicação por 100 para ficar uniformizada numa elevação a 100 m de altura para qualquer instalação, independentemente da altura manométrica efetiva:

$$AA16_{ab} = (AA16_{ab})' \cdot 100 = \frac{0,2725}{(\eta_{instalação})_{médio}} \quad (\text{a } 100 \text{ m})$$

Em resumo, o indicador calcula-se com a energia consumida em kWh, dividindo pelo produto do volume elevado pela altura manométrica e multiplicando o resultado obtido por 100.

O cálculo do rendimento médio de uma instalação com base no indicador AA16<sub>ab</sub>, é dado por:

$$(\eta_{instalação})_{médio} = \frac{0,2725}{AA16_{ab}}$$

No sítio da internet da ERSAR [17] é possível obter informação dos indicadores reportados pelas entidades gestoras no período 2016-2020. Importa, pois, fazer uma avaliação deste indicador nas diferentes entidades, para se poder percecionar o panorama nacional ao nível da eficiência energética na elevação de água em Portugal.

No ANEXO A desenvolve-se a análise dos indicadores de eficiência energética das EG, agrupando por tipo de sistema (baixas e altas) uma vez que em termos de dimensão são realidades um pouco distintas. No caso específico de eficiência de grupos eletrobomba e instalações, a sua dimensão tem influência direta nos valores máximos que podem ser atingidos.

Consideraram-se os seguintes intervalos para caracterizar o desempenho das instalações e por inerência das empresas:

Tabela 2 – Intervalos considerados para caracterizar o desempenho das instalações [15]

AA16ab [kWh/m <sup>3</sup> a 100m]	$\eta$ médio		Qualidade do Indicador	
	min.	máx.		
]0,2725 ; 0,38]	72%	100%	A	Boa
]0,38 ; 0,45]	61%	72%	B	Mediana
]0,45 ; 0,57]	48%	61%	C	Insatisfatória
]0,57 ; 5]	5%	48%	D	Muito insatisfatória
Sem indicador comunicado			F	

Considerou-se ainda que, atendendo ao melhor desempenho que é possível de verificar em motores e bombas de maior dimensão, os valores do indicador AA16<sub>ab</sub> que se pretende atingir nas EG em alta deve ser 0,35 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m e nas EG em baixa 0,37 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m. Estes valores já deverão refletir boas especificações de compra e intervenções de manutenção periódicas que permitam repor a condição dos equipamentos, melhorando também o seu desempenho. Para efetuar os cálculos recorreu-se às seguintes expressões:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{efetivamente\ necessária} = E_{consumida} \frac{AA16ab_{objetivo}}{AA16ab_{comunicado}} \end{array} \right. \quad (Equação\ 5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{desperdiçada/evitável} = E_{consumida} - E_{efetivamente\ necessária} \end{array} \right. \quad (Equação\ 6)$$

O Gráfico - 3, cuja origem de dados são os ficheiros dos indicadores disponibilizados pela ERSAR, consubstancia o cálculo da parcela de energia que se considera ser possível recuperar por adoção de boas práticas de gestão da manutenção, pela EG em alta em Portugal.

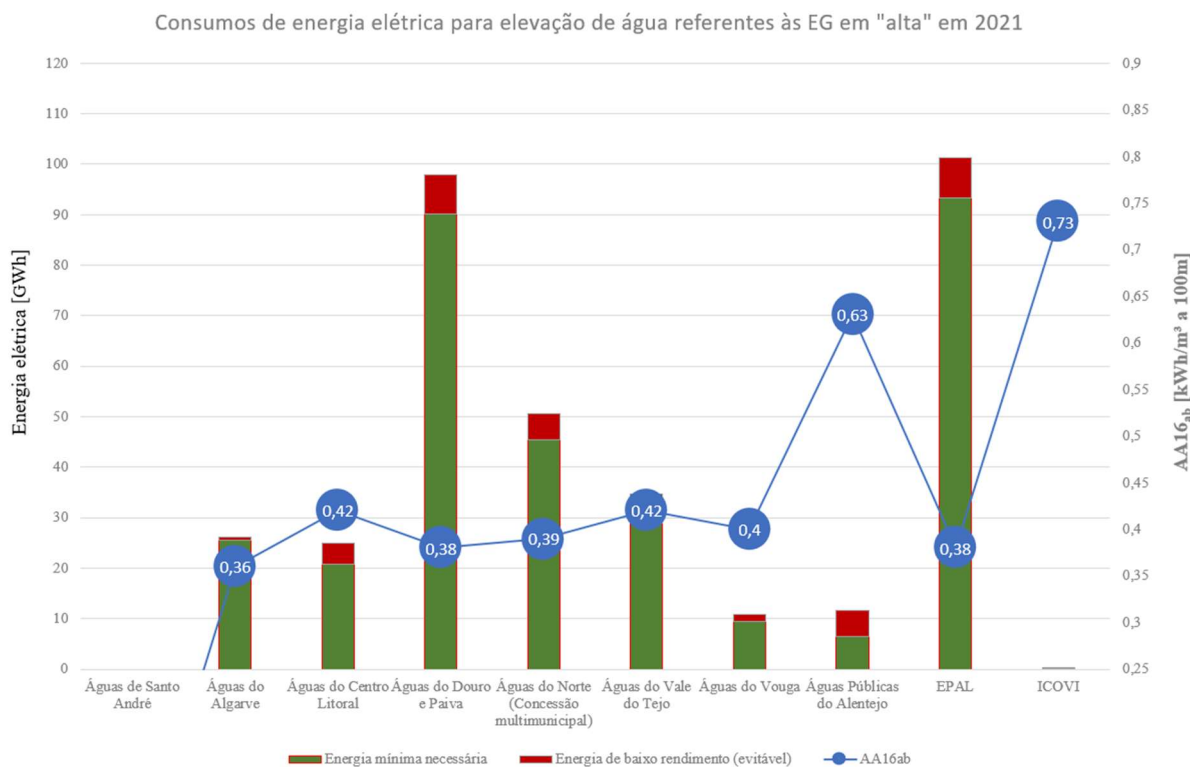


Gráfico - 3 – Energia elétrica consumida para elevação de água e respetiva parcela de desperdício por excessiva degradação de rendimento dos grupos eletrobomba. Indicador AA16ab de cada empresa

As EG “em baixa” que comunicaram o indicador são mais de 100, sendo assim mais difícil de contextualizar graficamente o desempenho de tantas empresas, pelo que se opta no Gráfico - 4 por mostrar como se distribuem qualitativamente no indicador e as que têm os piores e os melhores desempenho.

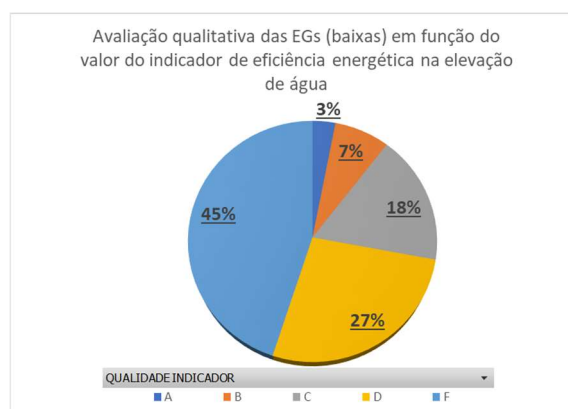


Gráfico - 4 – Distribuição das EG em baixa em função do valor do Indicador AA16ab comunicado em 2021

Inferindo-se que as entidades que não comunicam o indicador não deverão ter capacidade para fazer a necessária avaliação de desempenho das suas instalações, constata-se que cerca de 90% das entidades têm um desempenho negativo no que se refere ao assunto energético.

Conforme já se referiu, os valores apresentados no Gráfico - 5, em que se apresentam os piores desempenhos ao nível da eficiência energética, para além de espelharem diretamente o

problema do consumo excessivo de energia elétrica, indiciam que os equipamentos de elevação estão na iminência de deixar de funcionar, podendo pôr em causa o próprio serviço.



Gráfico - 5 – Sete EG em baixa com indicador AA16ab que reflete piores desempenhos

Fazendo a organização desta informação em ordem aos melhores desempenhos, no Gráfico - 6 considera-se muito curioso o facto de existirem duas entidades que apresentam um valor de indicador inferior ao que foi estabelecido no presente trabalho como objetivo para EG em “baixa” (apresentaram 0,35 kWh/m³ a 100 m quando o valor objetivo se cifra em 0,37 kWh/m³ a 100 m).

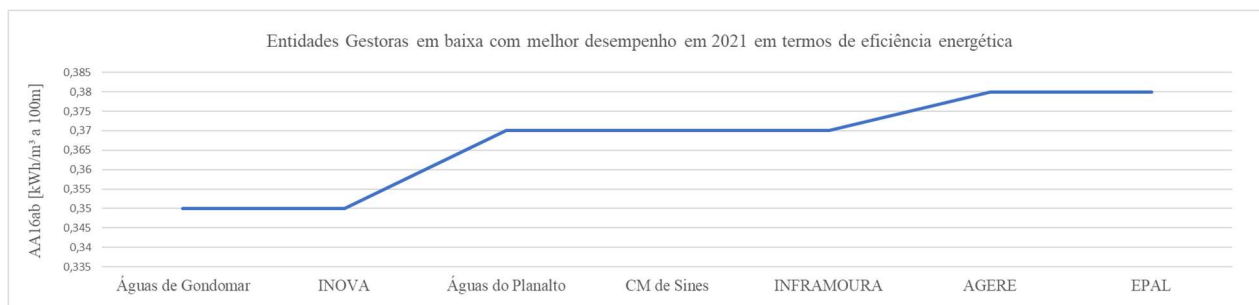


Gráfico - 6 – Sete EG em “baixa” com indicador AA16ab que reflete melhores desempenhos

Apresenta-se na Tabela 3 um resumo da avaliação de consumo de energia elétrica para elevação de água (dAA26b) que foi comunicada à ERSAR pelas EG, tendo-se aplicado uma fórmula para cálculo do valor de energia que cada EG poderia evitar consumir, se conseguisse ter valores do indicador AA16ab iguais a 0,35 kWh/m³ a 100 m (altas) ou 0,37 kWh/m³ a 100 m (baixas).

Entidades Gestoras no ano de 2021	Energia elétrica consumida para elevação de água [kWh]	Energia elétrica necessária para a elevação de água [kWh]	Energia elétrica consumida por degradação excessiva de rendimento de grupos eletrobomba [kWh]
EG em "alta" (*1)	358 013 771	319 813 476	38 202 316
EG em "baixa" (*2)	198 082 368	158 926 637	39 287 650
TOTAIS	556 096 139	478 740 112	77 489 967

(\*1) - Houve uma EG que não reportou o indicador AA16ab, não sendo assim possível calcular o potencial de melhoria.  
(\*2) - Houve cento e três EG que não reportaram o indicador AA16ab, não sendo assim possível calcular o potencial de melhoria.  
Para as EG em alta considerou-se que o desperdício de energia se inicia para valores de AA16ab superiores a 0,35, enquanto que nas EG em baixa se considerou a degradação para valores de AA16ab superiores a 0,37.

Tabela 3 – Valores de energia elétrica declarados pelas EG com cálculo de potencial de poupança.

Se pudessem ser consideradas a totalidade das EG, certamente obter-se-ia um valor anual de energia para elevação de água potável superior a 100 000 MWh/ano que podem e devem ser evitados. Considerando um valor médio de 10 c€/kWh a perda económica poder-se-á situar próximo de 10 milhões de euros por ano. Este valor poderia ser recuperado com a aplicação, sustentada, de políticas de gestão da manutenção. Para além deste ganho evidente, paralelamente, poder-se-ia maximizar o ciclo de vida dos ativos e também uma melhor prestação de serviços com índices de fiabilidade adequados.

O contexto é claramente preocupante principalmente se se atender a que:

- i. A ERSAR não estabelece em pormenor como devem ser medidos os valores de energia elétrica associados à elevação de água. Por outro lado, também não se sabe como se devem estimar os consumos que, não sendo diretamente associados à elevação, devem ser subtraídos aos consumos globais;
- ii. A ERSAR não estabelece a fórmula como deve ser calculada a altura manométrica de elevação. Salienta-se que este valor pode variar ao longo do tempo, dependendo do número de grupos a trabalhar em paralelo, da altura de água nos reservatórios de montante e de jusante ou mesmo do caudal elevado por cada grupo;
- iii. A ERSAR não estabelece os requisitos de dimensionamento e montagem de contadores de água ou de medidores de caudal, que permitem conhecer o volume elevado nas estações elevatórias. Esta variável é particularmente sujeita a erros de medição elevados, principalmente quando não são cumpridos os requisitos das montagens mecânicas ou das velocidades mínimas do escoamento;
- iv. A possibilidade de existirem diferentes patamares de elevação numa mesma estação elevatória, requer que todas as variáveis a registar sejam devidamente pesadas, para que se possam calcular, de modo adequado, os indicadores parciais e globais dessa mesma estação elevatória. Situação análoga acontece ao calcular-se o indicador global para o desempenho de uma empresa.

Atendendo à diversidade de metodologias que poderão estar a ser utilizadas no método de cálculo, associada a distintos e muito provavelmente pouco exatos métodos de medição, os indicadores de desempenho energético apresentados deverão transparecer uma imagem significativamente melhor do que a realidade é efetivamente.

## 2.6 Referencial normativo

É necessário associar o aumento de eficiência na elevação de água potável como fator decisivo no alinhamento com a estratégia de redução de emissões de gases de efeito de estufa e na transição energética.

A norma ISO 50001 de gestão de energia constitui uma excelente base de trabalho para se avaliar o desempenho de instalações, implementando estrategicamente medidas de melhoria.

Na Figura 9 apresenta-se um diagrama de processo do que pretende ser a implementação de boas práticas ao nível da gestão de energia. De realçar que, à semelhança dos processos de controlo com realimentação, este método é recursivo, utilizando os resultados obtidos para delinear o novo planeamento e assim condicionar eficazmente os resultados futuros.

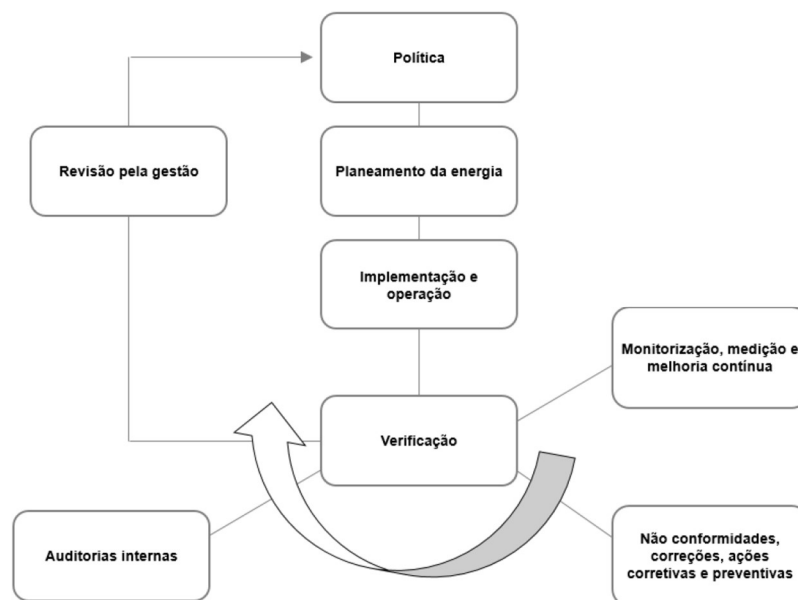


Figura 9 – Modelo do sistema de gestão de energia ISO 50001 [2]

## 2.7 Gestão estratégica e eficiência energética na indústria da água

Do ponto de vista legal existem inúmeros documentos que visam a melhoria da eficiência energética, quer dos ativos na sua comercialização, quer das instalações na sua exploração. Apresentam-se de seguida algumas referências que se consideraram importantes nesta temática.

As entidades gestoras devem adotar práticas que permitam que a médio/longo prazo haja efetivas mudanças, sustentadas, que permitam avaliar as empresas identificando de modo inequívoco as boas práticas de gestão. Nestes domínios é preciso ter consciência que há uma

enorme inércia na mudança porque influencia diretamente a política de investimentos, permanentes e sustentados no tempo, para apoio à melhoria evidentemente necessária quer na rede de condutas quer nas instalações de elevação de água e ainda a uma alteração de métodos no que aos recursos humanos diz respeito. Nos aspetos técnicos devem ser implementadas políticas que assegurem no “chão de fábrica”:

- i. Definição de competências;
- ii. Especificação de ativos/equipamentos;
- iii. Definição de procedimentos técnicos;
- iv. Desenvolvimento de modelos e de registos;
- v. Certificação energética e certificação da atividade da manutenção.

### 3 Grupos eletrobomba – avaliação de variáveis de influência no seu desempenho

Apresentam-se alguns temas e conceitos, importantes no desenvolvimento deste trabalho, para melhor compreensão da temática da água potável e dos grupos eletrobomba, essenciais para na elevação de água, que são complementados com a informação disponibilizada no ANEXO B.

#### 3.1 Conceitos fundamentais

##### Rugosidade

A rugosidade é uma medida de avaliação de uma superfície ao nível das suas irregularidades (picos e vales - Figura 10). Do ponto de vista microscópico é possível avaliar e mensurar as diferenças geométricas de uma pequena área face a áreas adjacentes (diferentes cotas z). É possível estabelecer diferentes métodos de cálculo de rugosidades. No âmbito deste trabalho adotar-se-á o estabelecido na norma ISO 4287 – Especificações geométricas de produtos, utilizando-se apenas as medidas de rugosidade média aritmética (Ra) - (Equação 7), de rugosidade média quadrática (Rq) - (Equação 8) e de rugosidade total (Rt) - (Equação 9), utilizando-se como unidade o  $\mu\text{m}$ , em qualquer das situações referidas.



Figura 10 – Perfil de rugosidade obtido com o rugosímetro Tesa Rugosurf 20

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i| \quad (\text{Equação 7})$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (\text{Equação 8})$$

$$R_t = z_{\text{máx}} - z_{\text{min}} \quad (\text{Equação 9})$$

## Tensão de saturação de vapor de um líquido

Esta característica é especialmente importante no âmbito da avaliação do comportamento de bombas uma vez que está na base de um fenómeno muito conhecido e problemático denominado por cavitação. Quando a pressão de um líquido desce até ao valor da sua tensão de vapor o líquido entra em ebulição, sendo esta situação verificada muitas vezes nas aspirações de bombas. O valor da tensão de vapor de um líquido varia com a temperatura.

Tabela 4 – Variação da tensão do vapor de água com a temperatura [18]

Temperatura [°C]	4	10	20
Tensão do vapor de água [N/m <sup>2</sup> ]	813	1225	2330

Os projetos hidráulicos e mecânicos dos circuitos hidráulicos influenciam as condições de pressão na aspiração de bombas, sendo determinantes na salvaguarda das condições de pressão que evitem a cavitação. Durante o ciclo de vida das bombas, a alteração das condições de funcionamento de uma bomba, exige que se salvaguardem as condições para evitar que se atinja em qualquer ponto do circuito hidráulico, a tensão mínima que origine a vaporização do fluido.

## Número de Reynolds

A caracterização do fluido permite que se preveja o seu comportamento ao nível da mecânica de fluidos, sendo naturalmente imprescindível para avaliação dos regimes estáticos e dinâmicos dos sistemas.

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{D v}{\nu} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:  $\rho$  - densidade [kg/m<sup>3</sup>]; D – Diâmetro da conduta [m]; v – velocidade de escoamento do fluido [m/s];  $\mu$  - viscosidade [Pa·s];  $\nu$ - viscosidade relativa [m<sup>2</sup>/s]

## Leis de semelhança

Existe um conjunto de equações que relacionam a alteração da velocidade de rotação - n - de uma bomba, com a consequência ao nível de caudal – Q - ((Equação 11), altura de elevação – H - (Equação 12) e potência consumida (Equação 13)).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{Equação 11}) \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (\text{Equação 12}) \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (\text{Equação 13})$$

Toma-se como ponto de funcionamento inicial ( $H_1$ ,  $n_1$ ) e assumindo uma alteração para uma nova velocidade de rotação  $n_2$ , podem ser calculadas as grandezas  $Q_2$ ,  $H_2$  e  $P_2$ .

As leis de semelhança são particularmente úteis em situações onde seja possível o recurso a variadores de velocidade como acionamento dos motores de grupos eletrobomba, uma vez que

se conseguem calcular diferentes pontos de funcionamento que se ajustem ao sistema hidráulico onde o grupo eletrobomba se insere.

Em situações de comissionamento de bombas, é usual as velocidades de ensaio em laboratório serem diferentes das velocidades nas instalações, consequência natural da diferença de escorregamento entre motores elétricos. Nestas situações recorre-se às leis de afinidade para se fazer os ajustes das curvas das bombas, visando a correta comparação com os requisitos definidos.

### **Teorema de Bernoulli**

No âmbito da hidráulica é comum escrever-se a equação de Bernoulli na forma que mais facilmente permite ter sensibilidade para as grandezas em causa, ou seja, com os diferentes termos na unidade de metros de coluna de fluido. Assim, a equação é dada pela seguinte expressão:

$$E = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = Cte \quad \text{(fluido perfeito - invíscido- ao longo de uma linha de corrente)} \quad \text{(Equação 14)}$$

E - Energia ; z – Cota geométrica em relação ao plano horizontal de referência [m] ;

p – Pressão ;  $\gamma$  - Peso volúmico ( $\rho \cdot g$ ) ; v - velocidade ;  $\frac{p}{\gamma}$  - Altura piezométrica ;  $\frac{v^2}{2g}$  - Altura cinética ; g – Aceleração da gravidade na Terra.

Esta fórmula aplica-se a líquidos perfeitos e movimentos permanentes sendo, portanto, a energia mecânica total por unidade de peso líquido constante ao longo da trajetória.

### **Potência ativa, potência reativa e potência aparente**

Em sistemas alternados de energia elétrica, atendendo ao caráter indutivo ou capacitivo das cargas, é necessário distinguir três tipos de potências, conforme Figura 11:

- Potência ativa ( $P_a$ ) – A unidade é o W e representa a componente que realiza trabalho. No plano de representação de potências tem dimensão exclusivamente no eixo das abcissas;
- Potência reativa ( $Q_r$ ) – A unidade é o VAR sendo uma potência que não realiza trabalho, mas é necessária para a magnetização das máquinas elétricas. No plano de representação de potências tem dimensão exclusivamente no eixo das ordenadas;
- Potência aparente (S) – Tem como unidade o VA e corresponde à soma vetorial da potência ativa com a potência reativa.

É ainda importante o conceito de fator de potência ( $\varphi$ ), também representado na Figura 11, que representa a defasagem no tempo entre a tensão elétrica e a corrente elétrica, sendo também possível de determinar conhecendo duas das potências acima descritas.

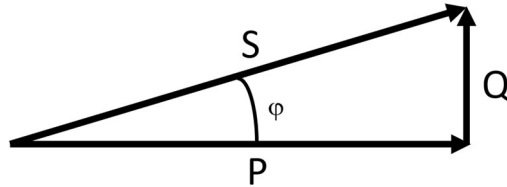


Figura 11 – Triângulo de potências de uma carga indutiva

Do ponto de vista matemático estas potências relacionam-se de acordo com a (Equação 15):

$$S^2 = P_a^2 + Q_r^2 \text{ [VA]} \quad \text{(Equação 15)}$$

No ANEXO B são desenvolvidos com maior profundidade um conjunto de conceitos, complementares aos apresentados, considerados importantes no desenvolvimento do presente trabalho.

### 3.2 Grupo eletrobomba de elevação de água

Para interpretação do funcionamento de um grupo eletrobomba Figura 12 e Figura 13 é vital que se compreenda a diferença entre as seguintes três potências:

**P<sub>elétrica</sub>** – Potência (ativa) elétrica pedida à rede de distribuição de energia elétrica, pelo motor (energia à entrada) que alimenta o estator da máquina. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$P_{elétrica} = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I \cdot \cos\varphi = 3 \cdot U_s \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ [W]} \quad \text{(Equação 16)}$$

$U_c$  – Tensão composta [V];  $I$  – corrente elétrica [A];  $\cos\varphi$  - Fator de potência;  $U_s$  – Tensão simples [V].

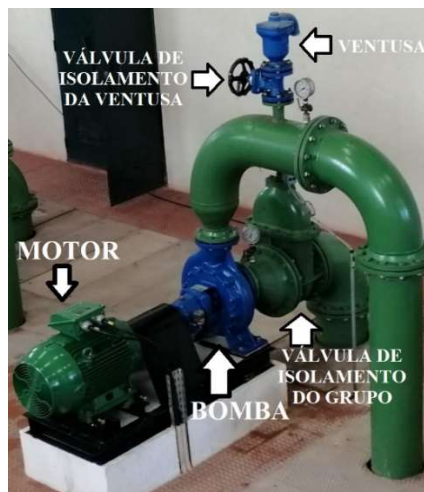


Figura 12 – Grupo eletrobomba em operação numa estação elevatória de água potável

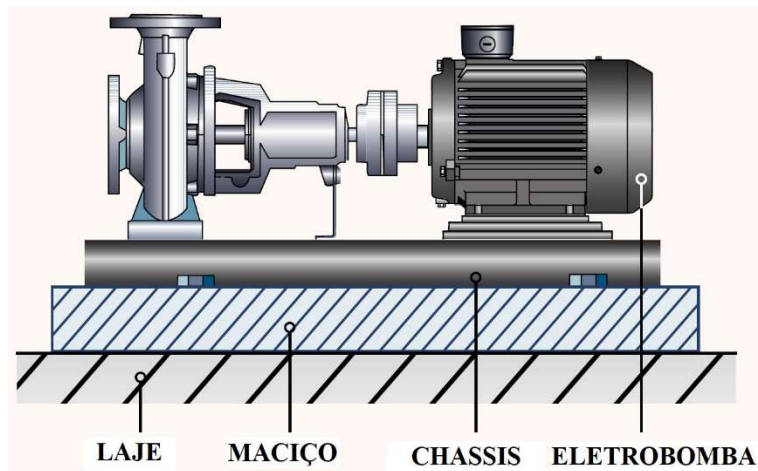


Figura 13 – Esquema de grupo eletrobomba e elementos de suporte (adaptado de [19])

Sabendo-se que a rede elétrica não consegue assegurar num sistema trifásico que as três tensões tenham valores de amplitude exatamente iguais, em motores trifásicos, o cálculo da potência elétrica recorrendo à (Equação 16) obrigaria que se medissem nove variáveis: três tensões, três correntes e três fatores de potência. Este método acarretaria erros significativos quer na leitura e consequentemente no resultado. Para simplificar o processo de medição que exigiria diversos instrumentos. Para suprimir esta dificuldade apareceram, numa primeira fase, os Wattímetros e mais recentemente os analisadores de energia que conseguem, medindo permanentemente três tensões e três correntes, calcular os valores instantâneos da potência elétrica em motores trifásicos.

**P<sub>mecânica</sub>** – Potência mecânica entregue ao veio do motor que, por aproximação desprezando as perdas no acoplamento, se considera igual à potência recebida no veio da bomba.

$$P_{mecânica} = P_{elétrica} \cdot \eta_{motor} \quad [W] \quad (Equação 17)$$

**P<sub>hidráulica</sub>** – Potência entregue ao líquido pela bomba.

A potência hidráulica é dada pela seguinte expressão (Equação 18):

$$P_{hidráulica} = \gamma \cdot Q \cdot H_m \quad [W] \quad (Equação 18)$$

$\gamma$  - peso volúmico [N/m<sup>3</sup>] ; Q – caudal volumétrico [m<sup>3</sup>/s]

$H_m$  – altura manométrica [m]

Um grupo eletrobomba funciona por um princípio de duas entradas e uma saída. Nas entradas tem-se a potência mecânica e o fluido, na saída tem-se o fluido de entrada com energia potencial acrescida, conforme se apresenta na Figura 14 numa perspetiva simbólica.

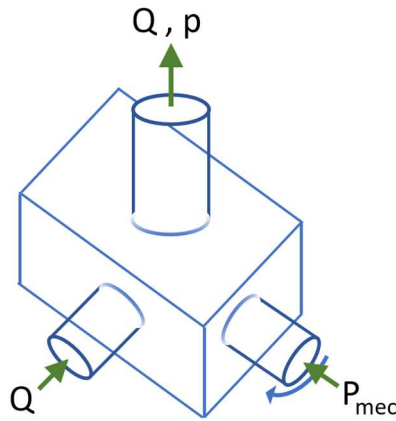


Figura 14 – Esquema de grupo eletrobomba tipo “caixa preta” (adaptado de [20])

Com base nestes conceitos é possível calcular o rendimento do grupo eletrobomba:

$$\eta_{grupo} = \frac{P_{hidráulica}}{P_{elétrica}} \quad (\text{Equação 19})$$

E conhecendo o rendimento do motor é possível calcular o rendimento individual da bomba:

$$\eta_{bomba} = \frac{P_{hidráulica}}{P_{mecânica}} \quad (\text{Equação 20})$$

### Velocidade específica

Construtivamente as bombas diferem significativamente entre si. Podem estar em causa conceitos distintos de construção ou pode ser simplesmente consequência natural do caudal e da pressão/altura disponibilizados. O cálculo da velocidade específica permite intercomparar bombas e impulsores distintos. Deve-se interpretar como sendo uma uniformização a uma bomba semelhante, em que se pretende saber a velocidade de rotação do impulsor em causa, para um ponto de funcionamento de  $H=1\text{m}$  e  $Q=1\text{m}^3/\text{s}$ , num mesmo ponto ótimo de funcionamento.

$$n_s = n_r \frac{Q_{v\text{BEP}}^{0,5}}{H_{\text{BEP}}^{0,75}} \quad (\text{Equação 21})$$

$Q_v$ - Caudal [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];  $H$  – Altura de elevação [ $\text{m}$ ];  $n_r$ -Velocidade de rotação [ $\text{rpm}$ ]

### 3.3 Motor elétrico

Os motores elétricos são responsáveis pelo consumo de 30 a 40 % de toda a produção de energia elétrica a nível mundial. Na indústria, esta mesma proporção pode chegar aos 70 %.

Para a elevação de água os grupos eletrobomba podem ter, maioritariamente, duas tipologias de motores elétricos, ambos alimentados com tensões alternadas: síncronos e assíncronos.

O motor assíncrono, muitas vezes apelidado por “de indução”, será certamente a máquina motriz mais utilizada em todo o mundo. Esta máquina associa a simplicidade de construção à

facilidade de controlo, alta eficiência e baixo custo. Construtivamente este tipo de máquina é composto por: um estator (com a bobinagem para ligar à rede elétrica) e um rotor em curto-circuito/gaiola (para ser induzido pelo campo eletromagnético criado pelo estator). Também existem aplicações do mesmo tipo de máquina, mas com rotor bobinado, embora tenha atualmente menor aplicação industrial. Apresenta-se na Figura 15 o corte de um motor elétrico, identificando as suas partes constituintes.

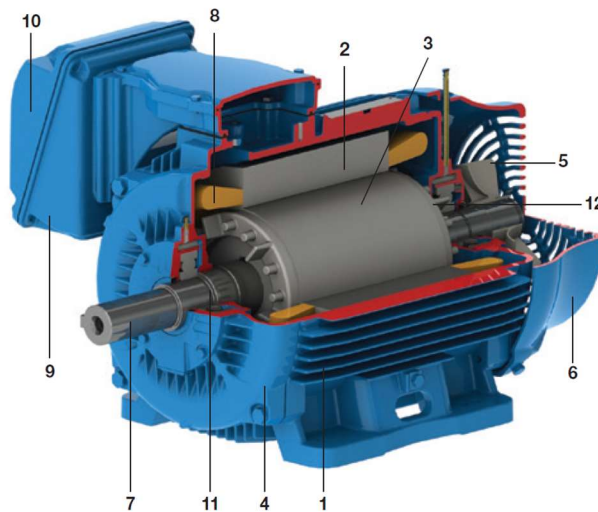


Figura 15 – Motor elétrico trifásico [21]

#### Estator

- 1 – Carcaça
- 2 – Núcleo de chapas/circuito magnético
- 8 – Enrolamento trifásico

#### Rotor

- 7 – Veio
- 3 - Chapas/circuito magnético
- 12 – Barras de anéis de curto-circuito

#### Outras peças

- 4 - Tampa
- 5 - Ventilador
- 6 – Tampa defletora
- 9 – Caixa de ligações
- 10 – Terminais
- 11 - Rolamentos

Nas máquinas assíncronas a velocidade do rotor é inferior à velocidade de sincronismo. A velocidade do campo girante no entreferro vai diminuindo à medida que aumenta a potência cedida à carga mecânica. O escorregamento corresponde a uma proporção entre velocidades de sincronismo e velocidade do rotor (Equação 22):

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (\text{Equação 22})$$

$s$  – escorregamento;  $\omega_s$  – velocidade de sincronismo [rad/s];  $\omega_r$  – velocidade do rotor [rad/s]  
 No funcionamento como motor o escorregamento está compreendido entre 0 e 1, tendo usualmente valores de 0,5 % a 3 % quando em funcionamento em carga. Salienta-se ainda que

esta máquina também pode ser utilizada como gerador ou como travão, assumindo o escorregamento valores diferentes para cada um dos referidos modos de funcionamento.

Nos motores trifásicos o sentido de rotação depende da sequência de fases estabelecidas no estator. A alteração do sentido de rotação da máquina obtém-se trocando duas fases na sua alimentação.

Na Figura 16 apresenta-se o esquema monofásico equivalente num circuito de parâmetros concentrados com os vários componentes elétricos que representam a máquina elétrica de indução.

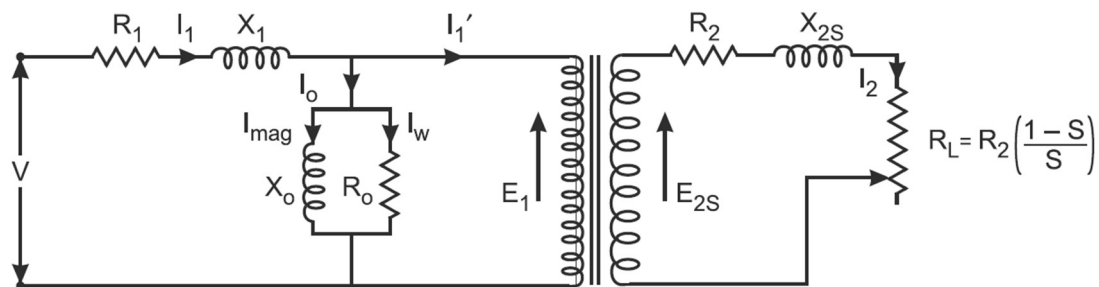


Figura 16 – Esquema monofásico equivalente em T de uma máquina elétrica de indução [22]

Deste esquema importa salientar as perdas presentes na máquina, bem como a sua origem:

- Perdas  $R_1 \cdot (i_1)^2$  nos enrolamentos do estator devido à resistência dos condutores;
- Perdas  $R_o \cdot (i_w)^2$  no ramo de magnetização, essencial para o estabelecimento do fluxo magnético;
- Perdas  $R_2 \cdot (i_2)^2$  no circuito induzido/rotor pela circulação de corrente

Na Figura 17 apresenta-se o peso de cada umas das parcelas de perdas em função da potência do motor, para máquinas de dois pares de polos.

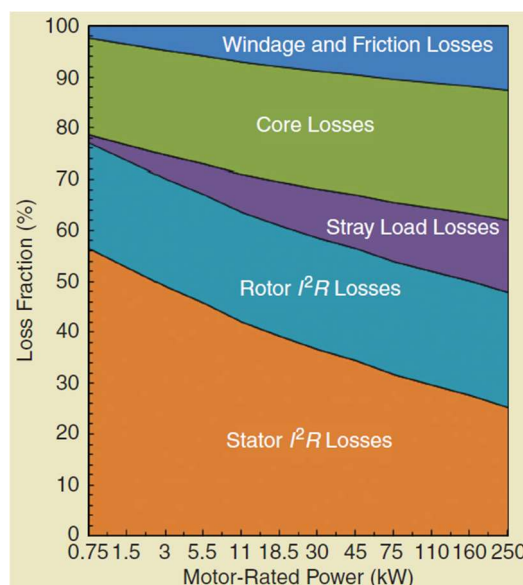


Figura 17 – Motores de indução – Distribuição do peso de cada componente de perdas [23]

Na Figura 18 apresentam-se as evoluções de rendimento em função da potência, em motores de 4 polos, para diferentes referenciais normativos: IEC 60034, EPAct e NEMA.

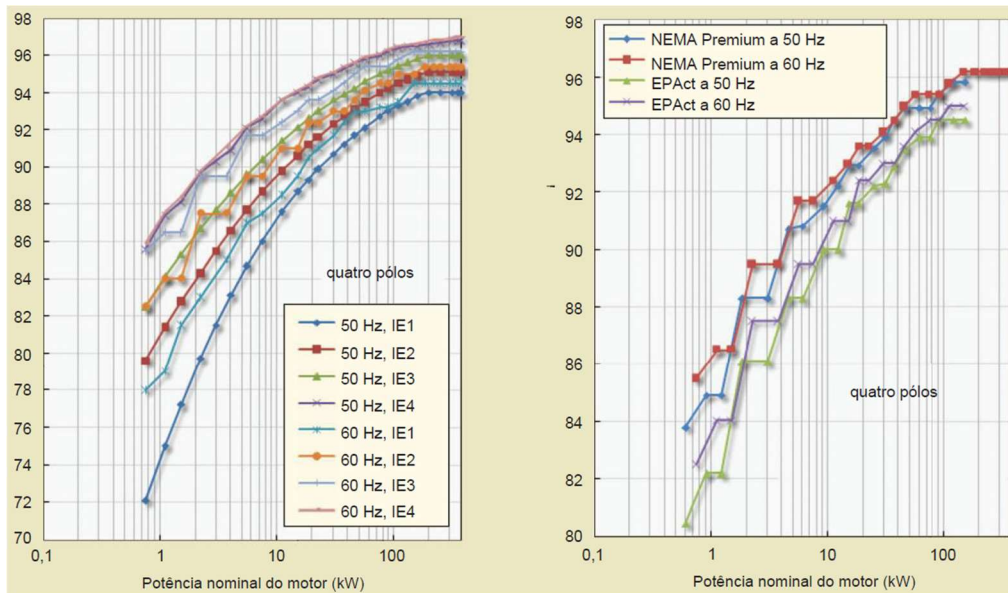


Figura 18 – Motores de indução – Índices de eficiência em função da potência [23]

Com base na informação existente em catálogos de caracterização de motores elétricos, é possível obter a  $P_{mec}$  de cada motor em função do escalão de potência, podendo-se calcular a  $P_{elétrica}$  correspondente, com recurso à (Equação 17). Sabendo que a potência mecânica ao veio é a que corresponde à potência declarada do motor (constante na sua chapa de características), relacionam-se as potências elétricas para se saber percentualmente qual o ganho que pode obter com as séries dos motores mais eficientes cuja fabricação é baseada em normativos que exigem maior rendimento para os motores elétricos.

É também possível avaliar, para diferentes cargas aplicadas ao veio do motor, qual o rendimento de motores de diferentes gerações. No Gráfico - 7 e no Gráfico - 8 apresentam-se algumas funções tomando como exemplo um motor de 18,5 kW. No Gráfico - 7 é possível observar a  $P_{elétrica}$  em função da carga aplicada, bem como o valor percentual de aumento de rendimento do motor de 2020 face ao de 1992.

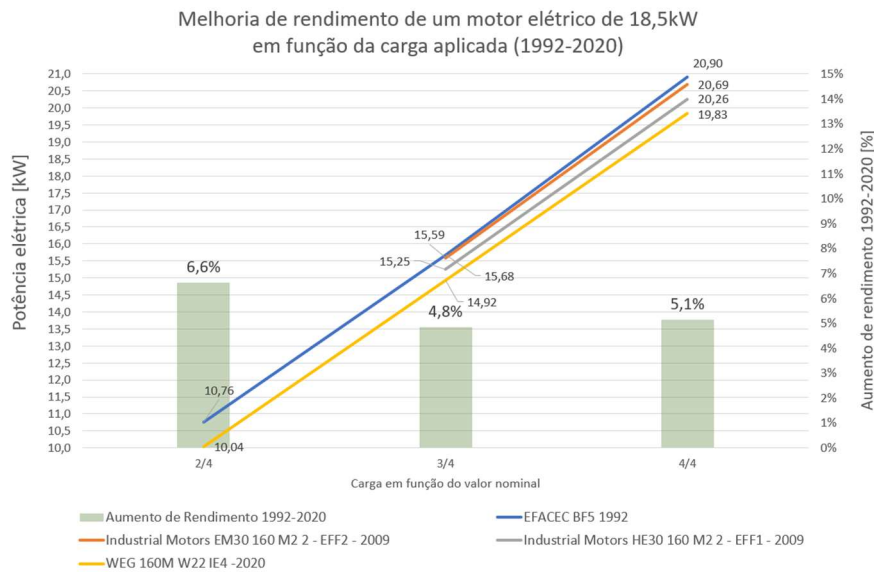


Gráfico - 7 – Motor de 18,5 kW –  $P_{elétrica}$ ,  $P_{mecânica}$  e aumento de rendimento

No Gráfico - 8 apresentam-se os valores de rendimento anunciados à data de comercialização dos diferentes motores e ganho respectivo do mais recente face ao mais antigo.

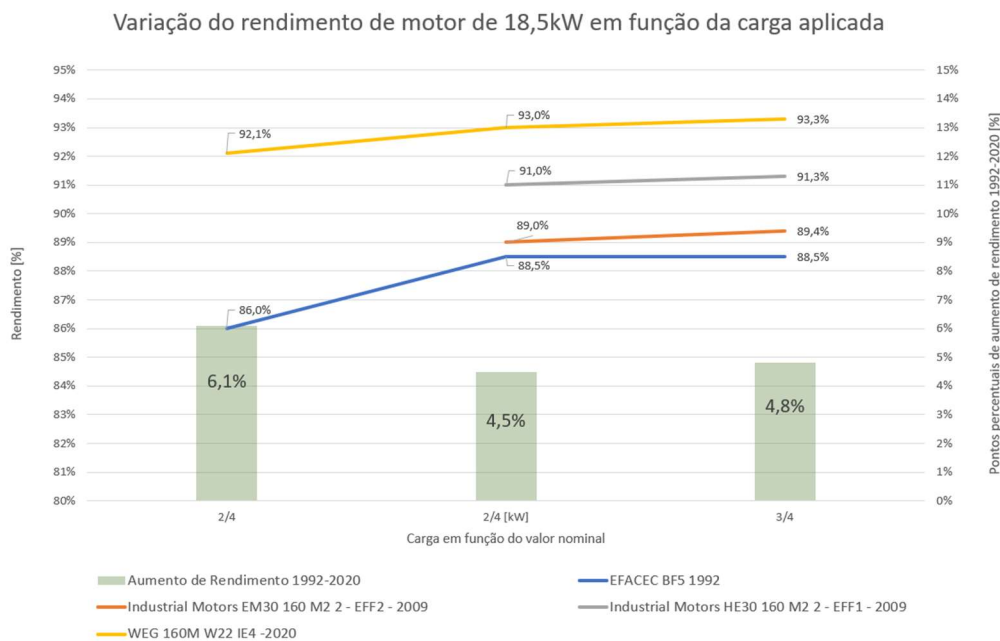


Gráfico - 8 – Rendimento de motores de 18,5kW, de diferentes gerações, em função da carga aplicada

É assim possível compreender que houve um desenvolvimento tecnológico que permitiu em menos de 30 anos, aumentar significativamente o rendimento de motores elétricos que por sua vez já apresentavam rendimentos relativamente elevados. Com base no exposto na Figura 16 e na Figura 17 verifica-se que as perdas passíveis de terem sido reduzidas nos motores de indução, são as perdas por efeito de joule. Sendo a resistência inversamente proporcional com a secção dos condutores (Equação 23), a diminuição das perdas de joule exige que se aumentem as secções dos enrolamentos do estator e das barras do rotor. É exatamente por este motivo que o aumento de rendimento dos motores elétricos de indução, implicou o seu aumento de peso.

No caso específico do rotor, o aumento de peso implica o aumento de inércia da massa girante. Do ponto de vista elétrico, o aumento da inércia implica um aumento ao nível do pico da corrente de arranque dos motores de maior eficiência.

$$R = \frac{\rho_e \cdot L}{A} \quad (\text{Equação 23})$$

R – Resistência elétrica [ $\Omega$ ];  $\rho_e$  – Resistividade elétrica (do material) [ $\Omega \cdot m$ ];

L – Comprimento [m]; A – Secção [ $m^2$ ]

A intervenção de manutenção num motor elétrico de indução obrigará então a avaliar o nível de eficiência do motor a intervir e compará-lo face a um motor de alto rendimento disponível no mercado. É necessário atender à potência consumida, número de horas anuais de serviço e preço da energia elétrica, para se poder fazer uma avaliação económica da substituição;

- a. Decisão de substituir o motor:
  - Avaliar o modo de arranque do motor bem como a capacidade da rede elétrica para as eventuais necessidades adicionais no arranque (necessidade de maior potência de curto-circuito por parte da rede);
  - Avaliar dimensionalmente o chassis e os desenhos de um novo motor, para eventual implementação de alterações;
  - Avaliar proteções elétricas para adequar ao novo motor;
- b. Decisão de reparação do motor:
  - Abertura do motor e avaliação de estator e rotor;
  - Limpeza geral do motor;
  - Medição de resistência de circuitos estatóricos;
  - Medição de resistência de isolamento;
  - Equilibragem de massa rolante;
  - Substituição de rolamentos.

### 3.4 Acoplamento

A transmissão da potência mecânica disponibilizada ao veio do motor, obriga à instalação de um acoplamento que permita a transmissão de potência ao veio da bomba. Dentro do grupo de acoplamentos fixos, existem acoplamentos rígidos e acoplamentos elásticos - Figura 19.

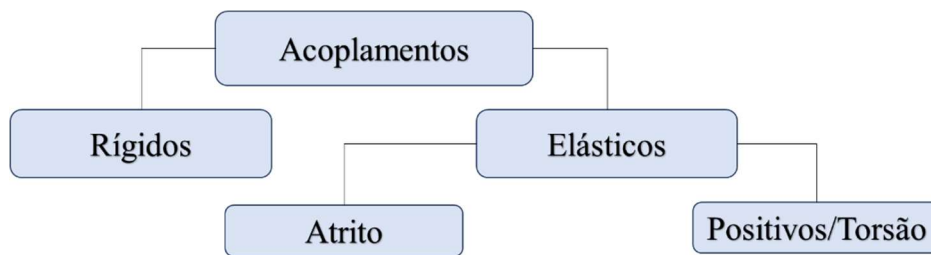


Figura 19 – Transmissão de potência – Tipos de acoplamento

Os acoplamentos rígidos, são projetados para ligar máquinas que não admitem desalinhamentos entre os veios das duas máquinas a acoplar.

Em grupos eletrobomba de água potável utilizam-se maioritariamente os acoplamentos elásticos, com ligação por chaveta e veio liso, que para além dos elementos rígidos possuem elementos elásticos para compensarem ligeiros desalinhamentos e vibrações, conseguindo ainda absorver impactos das fortes alterações de binários, que surgem em regimes transitórios, como por exemplo no arranque das máquinas. Estes acoplamentos flexíveis têm elementos deformáveis (Figura 20), geralmente fabricados a partir de materiais elastoméricos. Usando um material do tipo elastómero com uma dureza adequada assegura-se a rigidez de torsão e o amortecimento pretendido.

O dimensionamento e seleção de um acoplamento requer a avaliação das duas máquinas e da aplicação em causa, nomeadamente:

- Velocidade de rotação das máquinas;
- Binário máximo do sistema;
- Fator de serviço (depende do tipo de aplicação);
- Dimensão dos veios;
- Temperatura de serviço.

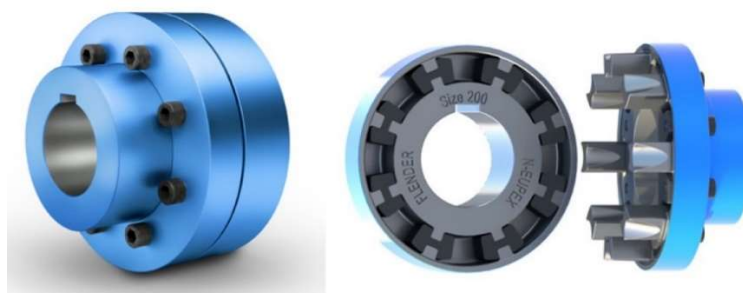


Figura 20 – Acoplamento elástico de torsão flexível da Marca Flender, Modelo N-Eupex [24]

Os acoplamentos podem ser providos de isolamento elétrico (entre a metade que está instalada no motor e a metade que está instalada na bomba), para evitar que tensões elétricas que surjam no veio do motor (por exemplo de origem em variadores eletrónicos de velocidade, quando

estes integram o acionamento do motor) possam ser descarregadas pelos rolamentos da bomba, provocando assim a sua degradação precoce.

A abordagem ao tema dos acoplamentos está intimamente relacionada com uma tarefa preparatória de colocação em serviço de um grupo eletrobomba: o alinhamento do veio do motor com o veio da bomba (Figura 21).



Figura 21 – Alinhadores do tipo Laser num processo de alinhamento

### 3.5 Bomba

A bomba é uma turbomáquina acionada por um motor que rodando fornece energia a um fluido. Na indústria da água as bombas são maioritariamente centrífugas com rotor/impulsor fechado, misto ou aberto (Figura 22).

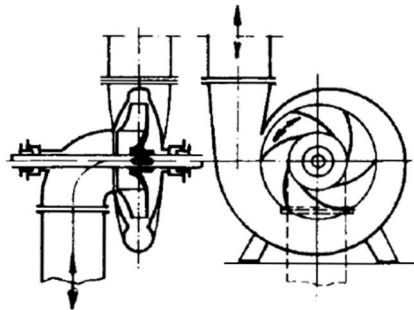


Figura 22 – Entrada e saída de fluido numa bomba do tipo centrífugo (em planta e em corte) [20]

Podem ser constituídas apenas por um impulsor ou por vários impulsores em série sendo neste último caso normalmente denominados por andares de elevação ou estágios de elevação. Neste trabalho abordar-se-á apenas a temática de bombas centrífugas com um impulsor fechado do tipo radiais. Estas bombas admitem/aspiram água na mesma direção do eixo da bomba e expulsam/comprimem água num plano normal à admissão. São máquinas relativamente simples, sendo compostas por (Figura 23):

- Voluta;
- Impulsor;
- Veio;

- Caixa de rolamentos, rolamentos e sistema de lubrificação;
- Empanque;
- Anéis de desgaste;
- Juntas.

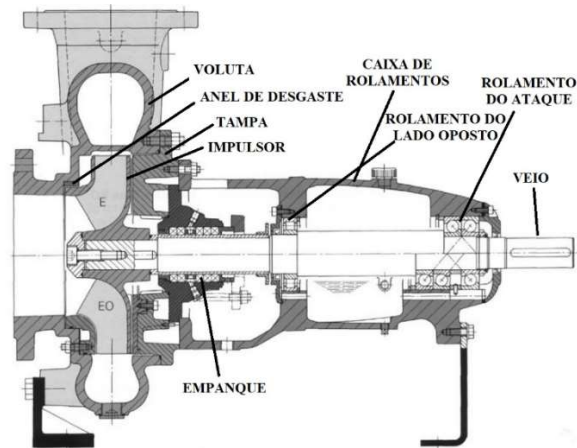


Figura 23 – Bomba centrífuga de aspiração axial e compressão radial (adaptado de [25])

A velocidade de rotação destas máquinas não ultrapassa, normalmente, as 3000 rpm sendo acionadas maioritariamente por motores elétricos.

Sendo constituídas por elementos metálicos, estão permanentemente sujeitas a corrosão, fenómeno que requer acompanhamento para evitar a sua progressão.

### 3.5.1 Voluta

É a peça de maior dimensão e é constituída pelo canal de admissão (que encaminha o fluido até às pás axiais de entrada no impulsor), pelo corpo (que alberga o impulsor) e pelo canal de saída (para onde é encaminhado o fluido proveniente do impulsor). O movimento de rotação obriga a que, radialmente, o impulsor expulse o fluido pela voluta da bomba, encaminhando-o para o canal de saída da bomba.

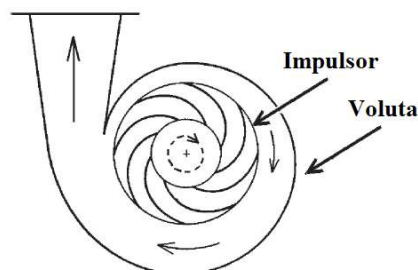


Figura 24 - Voluta de uma bomba centrífuga - vista frontal (adaptado de [26])

A voluta está diretamente em contacto com o fluido influenciando assim o rendimento final deste equipamento. Neste tipo de bomba podem-se considerar 4 zonas de contacto com o fluido  
Figura 25:

1. Canal de entrada;
2. Canal de saída interior;
3. Canal de saída exterior (cone de expulsão);
4. Tampa (Peça do lado da caixa de rolamentos).

Ao nível de revestimentos é importante ao nível da voluta avaliar as zonas anteriormente descritas.

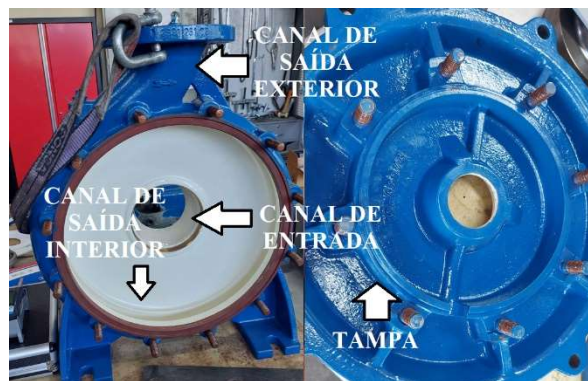


Figura 25 – Identificação das zonas da voluta de uma bomba centrífuga

### 3.5.2 Impulsor

O impulsor é o elemento rotativo da bomba que tem a capacidade de transferir energia para o fluido. Os impulsores podem ser abertos, semi-abertos ou fechados, dependendo da sua geometria e do modo como fluido se desloca no impulsor. Na indústria da água opta-se maioritariamente por impulsores fechados porque, não havendo o problema de sedimentação de partículas, são os que permitem obter melhores rendimento.

Conforme se pode observar na Figura 26 e na Figura 27 é constituído axialmente pelas pás de admissão do fluido que, internamente, encaminham o fluido para o canal de saída por efeito da rotação do conjunto rotórico da bomba. Na Figura 28 expõem-se as linhas de corrente do fluido no canal de um impulsor do tipo fechado.



Figura 26 – Impulsor fechado: Pás de entrada de água



Figura 27 – Impulsor fechado: Canal de saída de água

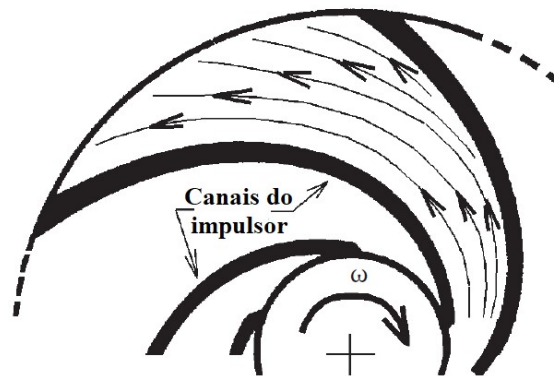


Figura 28 – Vista frontal de um impulsor (linhas de velocidade de escoamento) (adaptado de [26])

Os impulsores podem ser de diferentes tipos de materiais, sendo essa característica determinante no seu ciclo de vida conforme ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Longevidade estimada de impulsores de bombas em função do material [25]

<i>Material</i>	<i>Fator de vida</i>
Bronze-Alumínio	8
Titânio	6
Bronze	4
Aço inox	4
Monel	2
Ferro Fundido	1,5
Latão	1,2
Aço	1

Neste tipo de aplicações o material mais utilizado é o ferro fundido. O bronze e o aço inox são normalmente os materiais selecionados quando se pretende obter bons rendimento na elevação de água, não elevando excessivamente o seu custo. O material utilizado nos impulsores é determinante na sua resistência aos esforços a que é submetido durante o seu ciclo de vida, sendo muito importante a realização de ações de inspeção que permitam avaliar o

funcionamento das máquinas. Pretende-se assim evitar a ocorrência de situações conforme apresentado na Figura 29 ou na Figura 30. Na primeira situação a corrosão provocou uma perda significativa de material não tendo sido corrigida atempadamente, nem evitando a perda total da peça. Na segunda situação é bem visível o famigerado fenómeno de cavitação em que, não sendo assegurada pela instalação uma pressão suficiente para que se evite atingir a tensão de vapor da água à temperatura de funcionamento, a sua vaporização e posterior condensação durante períodos prolongados, tem como resultado a perda de material nas zonas mais expostas, nomeadamente na aspiração das bombas nas pás dos impulsores.

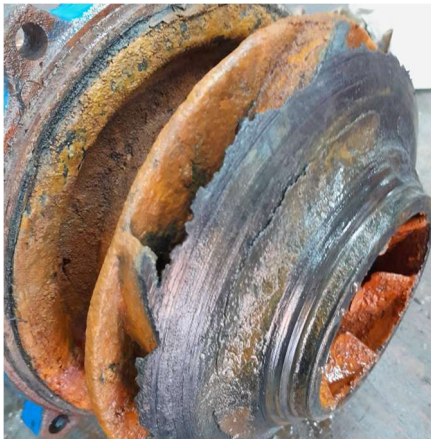


Figura 29 – Impulsor sujeito a desgaste extremo (perda de material)



Figura 30 – Impulsor sujeito a desgaste por cavitação (tensão de vapor não foi assegurada)

O desenho do impulsor varia nomeadamente no seu diâmetro exterior, diâmetro na admissão e no número de canais de encaminhamento do fluido, do ângulo das pás de admissão, da espessura do canal e do desenho dos próprios canais. Os impulsores são desenhados para um intervalo de caudais e pressões de funcionamento, tendo cada tamanho (“frame”) de voluta possibilidade de aplicação de impulsores de vários diâmetros. Por vezes ocorrem erros nos projetos hidráulicos e os pontos de funcionamento das instalações diferem um pouco dos calculados para as bombas. Nestas situações, havendo necessidade de reduzir a altura de elevação, é comum reduzirem-se os diâmetros dos impulsores com recurso a maquinagem. Caso seja necessário aumentar a altura de elevação será necessário avaliar se a voluta suporta um impulsor de maior diâmetro, para se adquirir um ajustado ao ponto de funcionamento da instalação.

Para reduzidas alterações do diâmetro de impulsores, são válidas as seguintes equações:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (\text{Equação 24}) \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad (\text{Equação 25}) \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \quad (\text{Equação 26})$$

### 3.5.3 Veio

O veio é um elemento rotativo, constituído por várias secções circulares, que transmite diretamente a potência do motor por intermédio de um acoplamento. No veio é aplicado um binário de rotação, existe uma força que reflete a massa dos diferentes componentes que lhe estão acoplados e existem forças axiais e radiais provenientes do contacto com o fluido e do trabalho que é realizado pelo impulsor. O projeto do veio culmina com o desenho da sua geometria (Figura 31 e Figura 32) e com a seleção do material e respetivos tratamentos.

Pretende-se que o veio tenha boa resistência mecânica, sendo de destacar um aço inoxidável martensítico, temperado e revenido – AISI: 420 / EN: X 20 Cr 13 / ISO: 15510.

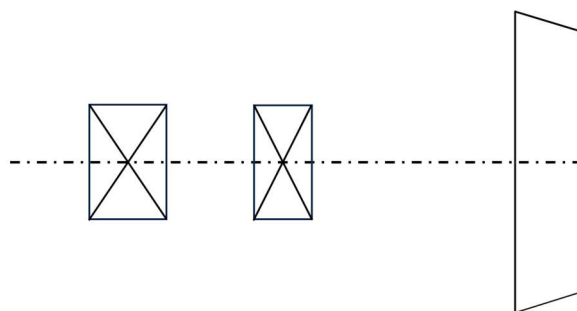


Figura 31 – Configuração dos veios de bombas centrífugas com aspiração axial e compressão radial

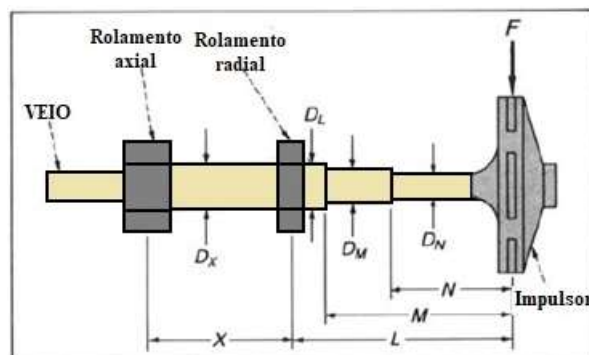
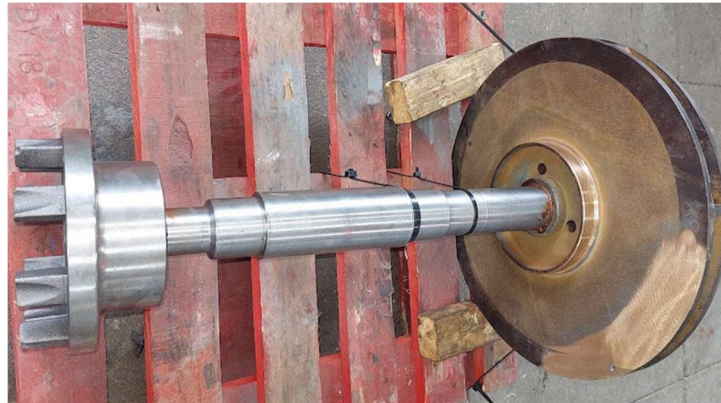


Figura 32 – Veio de bomba centrífuga de aspiração axial e compressão radial (adaptado de [25])

O resultado do projeto obtém-se por avaliação das cargas estática e dos regimes dinâmicos de cada máquina. Neste tipo de máquina importa essencialmente validar, flexões, torsões, tensões de corte e zonas de concentração de tensões. No regime dinâmico, é importante a avaliação do sistema do ponto de vista de vibração (avaliação de velocidades críticas).

No veio deste tipo de bombas, numa extremidade, é instalado o acoplamento, na zona central dois rolamentos (normalmente um de esferas outro de rolos) e o impulsor na extremidade oposta à do acoplamento. Também no veio, mas numa componente apenas de vedação, é instalado o empanque que evita a perda de fluido do interior para o exterior da voluta. Os

rolamentos estão instalados numa caixa que, contendo óleo ou massa lubrificante, deve estar isolada do exterior, por exemplo, recorrendo a o-rings e juntas de papel (Figura 33).



*Figura 33 – Conjunto rotórico de uma bomba após equilibragem*

Conforme já descrito, para esta tipologia de bombas centrífugas, ao longo do veio, existem diferentes componentes, conforme é possível identificar Figura 33 (da esquerda para a direita):

- Acoplamento (metade do acoplamento porque a outra metade está no veio do motor);
- Rolamento de esferas (pode ser de pista dupla);
- Rolamento de rolos;
- Empanque (apenas vedação com força de contacto no veio desprezável);
- Impulsor.

Para o correto funcionamento do empanque sem que ocorra degradação do veio, são normalmente instaladas camisas nos veios (Figura 34). É assim possível que o empanque, trabalhando por atrito, desgaste a camisa que é mais simples e mais económico de substituir. Esta solução apresenta ainda a vantagem do material da camisa e do seu tratamento da superfície exterior, poder ser selecionado em função do material do veio e do empanque, projetando-se uma vida útil adequada.



*Figura 34 – Veio e camisa onde trabalha o empanque da bomba*

Na caixa de rolamentos (Figura 35), as tampas da caixa limitam a deslocação axial numa direção de ambos os rolamentos, sendo necessário que na direção oposta sejam instalados freios (Figura 36), que limitem o deslocamento na direção oposta.



Figura 35 – Caixa de rolamentos aberta, com freios interiores visíveis

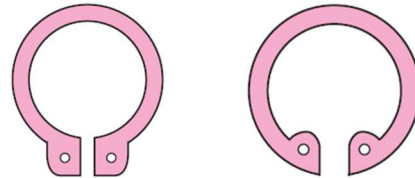


Figura 36 – Freios dos tipos exteriores e interiores [27]

As chavetas são também peças muito importantes (Figura 37), dimensionadas para cada veio atendendo aos esforços aí desenvolvidos, são instaladas como forma de bloqueio e transmissão de binários ao impulsor e ao acoplamento.



Figura 37 – Extremidade do veio com a chaveta de fixação do impulsor

### 3.5.4 Revestimentos

Ao nível do revestimento de volutas de bombas existem algumas alternativas de mercado, em termos de produtos aplicáveis na indústria da água (Figura 38 e Figura 39), que diminuem a rugosidade do material que está em contacto com o fluido e por essa via permitem obter níveis de desempenho superiores. Estes produtos são ainda desenvolvidos para evitarem a corrosão do material de base, proporcionando assim uma vida útil acrescida. Neste tipo de aplicação, para além do benefício imediato que existe com a diminuição de rugosidade e consequente melhoria do rendimento da bomba, é muito importante a resistência à fadiga, para assegurar um bom desempenho durante o maior período possível. Nesse sentido devem ser avaliadas algumas características mecânicas dos diferentes produtos.

Destacam-se os seguintes produtos comercializados em Portugal:

- Belzona - Polymeric 1341 – 2 componentes numa mistura de 1:1 em volume.  
Aplicação de duas camadas perfazendo uma espessura mínima total de 500 µm;
  - Tensão de tração (arrancamento) – 31,0 MPa;
  - Tensão de corte – 26,2 MPa (em aço carbono);
  - Espessura da camada – 250 µm;
  - Rugosidade –  $R_a \approx 0,09$  µm (com aplicação a pincel);
  - Elasticidade > 0,79%;
  - Certificação – WRAS;
- Henkel - Loctite® PCC 7255TM – Epoxy de dois componentes com resina e endurecedor numa mistura de 2:1 em volume. Possibilidade de aplicação de 2 a 4 camadas. Livre de solventes.
  - Tensão de tração – 47 MPa;
  - Tensão de compressão – 106 MPa;
  - Dureza “Shore D”  $\approx 86$ ;
  - Elasticidade > 1,4%;
  - Certificação – WRAS;
- BS Coatings - EUROKOTE® 468 Thixo 500 – Dois componentes (epoxy e endurecedor). Proporção de 2:1 em volume. Livre de solventes.
  - Tensão de tração (arrancamento)  $\geq 15,0$  MPa;
  - Tensão de corte – 20 MPa;
  - Módulo de elasticidade  $\approx 200$  MPa;
  - Espessura da camada – 300 µm a 800 µm;
  - Dureza “Shore D”  $\approx 70$ ;
  - Elasticidade  $\geq 5$  %;
  - Certificação – WRAS;
- Hempel Hempadur 35600 – Ligante EPOXI curado por polyamida de dois componentes numa proporção de 14,8:5,2 em volume. Aplicação a pincel ou com sistema *Airless spray*. Livre de solventes.
  - Espessura de camada – 250 µm a 350 µm;
  - Certificação – WRAS;
- Metaline® 760 – Elastómeros de reação, de dois componentes, numa proporção de 2:1 em volume. Aplicação por pulverização. Livre de solventes.

- Tensão de tração (arrancamento) > 15 MPa;
- Tensão de corte – 20 MPa;
- Dureza “Shore A” ≈ 60;
- Certificação – FDA.



Figura 38 – Produtos de revestimento com aplicação na indústria da água potável

WRAS Approval Number: 2208516

Approved Material

'Eurokote 468 Thixo Brun Rouge'. Factory applied, red/brown coloured, two-part epoxy coating consisting of a resin and hardener. Mix resin and hardener in a weight ratio of 77:23 and apply as per manufacturer's Data Sheet dated '10/05/2019'. Cure for 10 days@20°C. For use with water up to 60°C. This material is only approved for the curing conditions that appear on the approval. If the cure conditions are varied from those specified on the approval then the material is not covered by the scope of the approval.

- **Section:** 5030 Coatings, Paints & Linings (?section=5030)
- **Section Subtitle:** Factory applied pipe & fittings coatings.
- **WRAS Approval Number:** 2208516
- **Expiry date:** 31/08/2027
- **Manufacturer:** BS Coatings View All Listings by this Company (?company=11634)

Figura 39 – Certificado WRAS de aprovação de produto para contacto com água potável

### 3.5.5 Rolamentos

Os rolamentos permitem que haja simultaneamente um apoio de todo o conjunto rotórico da bomba, viabilizando o movimento de rotação com origem no motor, que visa a transmissão de energia ao fluido. Devem ser capazes de suportar cargas estáticas e cargas dinâmicas nas direções radiais e axiais, decorrentes do normal funcionamento da máquina.

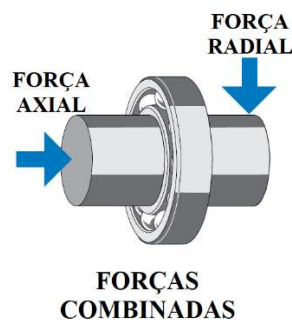


Figura 40 – Aplicação de forças a suportar pelos rolamentos (adaptado de [28])

Podem ter uma vida útil prolongada, dependendo dos critérios de projeto no que respeita à vida à fadiga, desde que permanentemente se cumpram os requisitos ao nível da lubrificação, das

cargas aplicadas, dos alinhamentos, dos deslocamentos axiais, das folgas nas caixas e da temperatura de funcionamento.

Neste tipo de bomba é usual usarem-se rolamentos de esferas (de pista simples ou de pista dupla) do lado do ataque e de rolos do lado oposto ao ataque.



*Figura 41 – Rolamento SKF 3309 A/C3 da bomba EFACEC CJG 125/315 S/N 22843002*

No caso de um rolamento 3309 A/C3 é um rolamento de esferas de contato angular de duas carreiras sendo particularmente adequados pela sua rigidez. É um rolamento capaz de suportar deflexões, cargas radiais e grande cargas axiais em qualquer direção. Esta solução requer menor espaço axial quando comparado com um par de rolamentos de esferas de contacto angular de uma carreira. Para o rolamento NU 2309 ECP/C3, rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira, destaca-se a sua capacidade para suportar cargas radiais elevadas. É capaz de suportar deslocamento axial em ambas as direções.

Outra situação que importa relevar, atendendo à sua atual massiva utilização, são as alimentações elétricas de motores com variadores de velocidade, que ao nível dos rolamentos, devem implicar a utilização de rolamentos com pistas isoladas do ponto de vista elétrico (Figura 42). O objetivo é evitar que as tensões elétricas que aparecem nas carcaças do motor, possam ser descarregadas pelos rolamentos, provocando assim o fenómeno de *pitting*, com a consequente degradação das pistas e das massas rolantes.



*Figura 42 – Pistas interiores de dois rolamentos de esferas do tipo isolado*

### 3.5.6 Anéis de desgaste

Os anéis de desgaste são os elementos que permitem minimizar o espaço entre o impulsor e a voluta - Figura 43. Dependendo da dimensão do impulsor pode haver necessidade de haver um anel de desgaste na parte frontal e outro na retaguarda ou, para impulsores de reduzida dimensão, apenas na zona frontal.

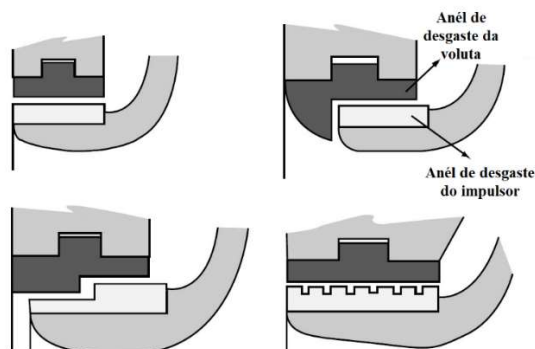


Figura 43 – Diferente formas de anéis de desgaste em bombas (adaptado de [29])

A folga entre impulsor e o anel de desgaste, por si só, pode ser motivadora de intervenção na bomba pela perda de rendimento que pode representar o retorno de fluido. Efetivamente uma folga excessiva permitirá que exista um maior refluxo entre a compressão da bomba e a sua aspiração, situação naturalmente que deve ser minimizada. A folga a implementar deve atender aos materiais utilizados e temperaturas de funcionamento, assim como ao possível desvio entre o centro de rotação do impulsor e o centro do anel de desgaste da voluta. Deve ainda ser avaliada a excentricidade do impulsor.

Uma referência importante a considerar para conhecimento de uma folga máxima entre anéis de desgaste é a norma “API 610 *Centrifugal pumps for petroleum petrochemical and natural gas industries*”.

Tabela 6 – Folgas mínimas em função do diâmetro do anel de desgaste (adaptado de [30])

Diâmetro do anel [mm]	Folga mínima no diâmetro [mm]
<50	0,25
50 a 64,99	0,28
65 a 79,99	0,30
80 a 89,99	0,33
90 a 99,99	0,35
100 a 114,99	0,38
115 a 124,99	0,40
125 a 149,99	0,43
150 a 174,99	0,45
175 a 199,99	0,48
200 a 224,99	0,50
225 a 249,99	0,53
250 a 274,99	0,55
275 a 299,99	0,58
300 a 324,99	0,60

Assegurar as folgas mínimas, para além da importância evidente no rendimento e no equilíbrio da bomba, tem também um benefício significativo de diminuir o desgaste por erosão nas zonas de escoamento no impulsor.

A combinação de materiais que normalmente é utilizada é:

- Bronze / Bronze;
- Bronze / Ferro Fundido;
- Ferro Fundido / Ferro Fundido.

Quando o fluido é água potável (fria), a avaliação térmica da dilatação de materiais pode ser considerada pouco relevante.

### ***3.5.7 Empanques***

Os empanques permitem fazer a vedação entre o veio da bomba e sua tampa, isolando assim o interior da bomba do exterior. Avarias nos empanques têm como consequência a perda de água e consequentemente a rápida degradação do desempenho da bomba, exigindo uma paragem e uma abertura da bomba para reparação.

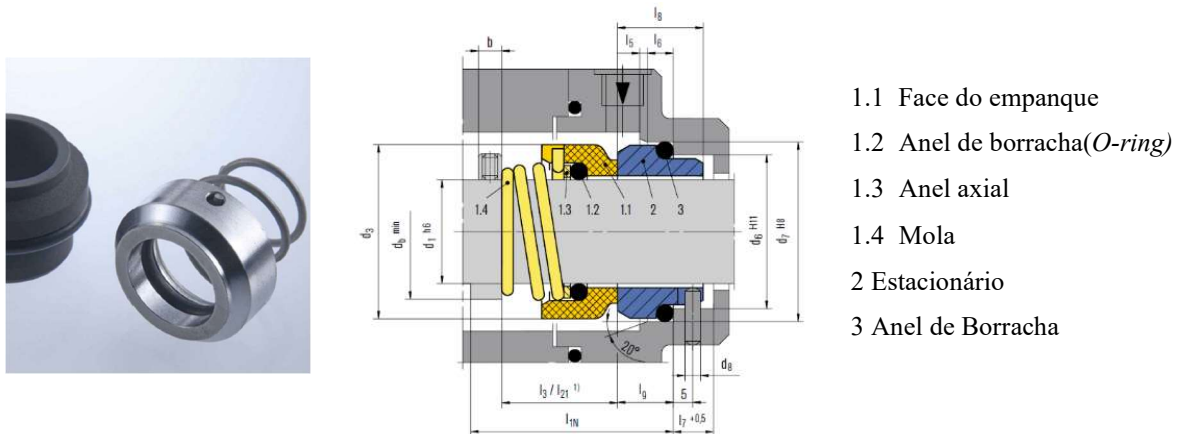
Os empanques podem ser de cordão ou mecânicos. No caso de empanques de cordão (Figura 44) são realizadas várias passagens ao longo do veio (vulgarmente denominados por anéis de empanque), existindo uma peça para aperto e ajuste da tensão final dos cordões. Esta tipologia de montagem admite pequenas perdas de fluido pelo empanque, mas tem a possibilidade de reduzir a fuga mediante o reajuste da tensão dos cordões. O material do empanque deve ser selecionado em função do fluido de trabalho na bomba (especial relevância para o pH), da pressão e da temperatura. Alguns materiais utilizados neste tipo de empanques são: aramida, PTFE (Politetrafluoretileno), carbono, grafite ou linho.



*Figura 44 – Exemplo de cordão de empanque em PTFE da Chesterton*

Os empanques mecânicos (Figura 45) são constituídos por uma peça que permanece imóvel (o estacionário) e por uma peça que roda solidária com o veio, sendo aplicada permanentemente uma força elástica por intermédio de uma mola entre estas peças, provocando assim a vedação. Esta tipologia apresenta como vantagem evitar a perda de fluido pelo empanque e haver um

auto-ajuste que corrige o desgaste natural que vai havendo nos materiais. A única desvantagem é normalmente o custo.



- 1.1 Face do empanque
- 1.2 Anel de borracha(O-ring)
- 1.3 Anel axial
- 1.4 Mola
- 2 Estacionário
- 3 Anel de Borracha

Figura 45 – Empanque mecânico com aplicação em bombas de água - Burgmann [31]

Em qualquer dos tipos de empanque os materiais de vedação devem ser selecionados em função da temperatura, da pressão e da agressividade do fluido de trabalho.

### 3.5.8 Curvas de funcionamento

A forma de cada um dos tipos de curvas de funcionamento de bombas centrífugas, são semelhantes entre si (Figura 46), sendo importante conhecê-las para se poder interpretar o funcionamento das bombas, bem como a sua resposta face a diferentes tipos de solicitações. Nestas curvas existem zonas proibidas de funcionamento em função do tipo de bomba e do desenho construtivo. Maioritariamente nos caudais mais baixos, deve-se evitar um funcionamento por período prolongado.

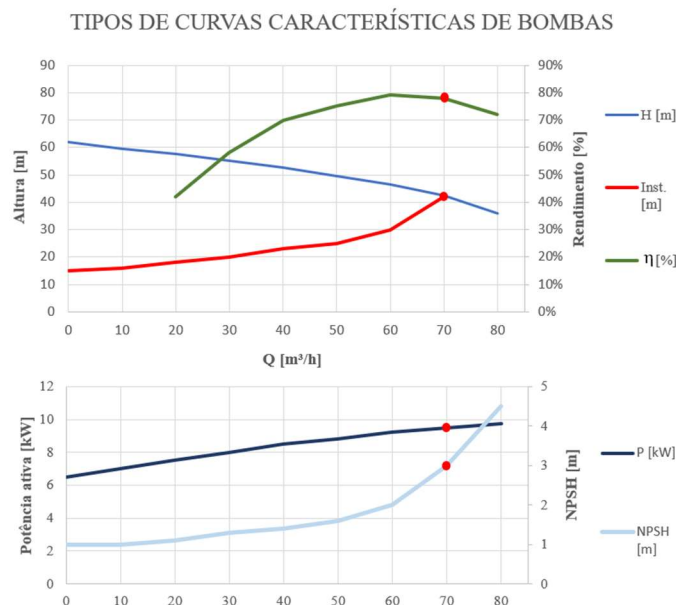


Figura 46 – Exemplos de curvas típicas do funcionamento de bombas centrífugas

Dependendo das características que se pretenda numa bomba, a curva caudal altura pode ser mais estável no decaimento da altura com o aumento de caudal, ou pode diminuir fortemente a altura com o aumento do caudal.

### 3.6 Fluido – Água potável

Algumas características da água para consumo humano devem ser consideradas no âmbito da realização de ensaios e de cálculos associados. Ao nível dos instrumentos de ensaio como sejam, por exemplo, sondas de nível ou caudalímetros, é necessário assegurar que são cumpridos os requisitos para que possam ser obtidas medidas fidedignas. Também ao nível dos materiais que são aplicados nas zonas de contacto com o fluido é importante adequar às características físico-químicas do fluido.

#### **3.6.1 Temperatura**

Na captação, tratamento e transporte de água, a temperatura do fluido depende essencialmente da sua origem, podendo também ser influenciada quer pelas condutas, quer pelos reservatórios de percurso, se não tiverem sido projetados de modo adequado. Maioritariamente, em Portugal, as EG deverão conseguir distribuir água com temperaturas inferiores a 30 °C.

#### **3.6.2 pH [32]**

O valor do pH (potencial hidrogeniónico) traduz a acidez ou alcalinidade da água. A escala do pH compreende valores entre 0 e 14, sendo que um pH igual a 7,0 indica uma solução neutra. O pH da água para consumo humano não deverá ultrapassar o valor de 9,5 nem ser inferior a 6,5, qualquer dos valores tendo com referência os 25 °C de temperatura.

#### **3.6.3 Condutividade**

A condutividade elétrica é uma medida da capacidade de um material/fluido conduzir corrente elétrica. A água é um fluido bom condutor de eletricidade sendo a condutividade elétrica sensível a vários fatores, como sejam a quantidade de minerais dissolvidos.

A condutividade da água para consumo humano não deverá ultrapassar o valor de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 20°C.

#### **3.6.4 Turvação[33]**

A turvação numa água deve-se à presença de partículas coloidais e/ou em suspensão, finamente divididas, tais como argilas, limos, areias, matérias orgânicas e inorgânicas, plâncton e outros

organismos microscópicos, que obstruem a transmissão da luz através da água, mas a turvação não é uma medida direta da matéria em suspensão. Como os microrganismos (bactérias, vírus e protozoários) se encontram, geralmente, aderidos a estas partículas, a remoção da turvação pode reduzir significativamente a contaminação microbiológica da água.

Em Portugal, no abastecimento de água para consumo humano, o valor máximo recomendado é 0,4 NTU (Unidade de Turvação Nefelométrica) sendo que o valor máximo admissível é de 4 NTU.

### ***3.6.5 Dureza [32]***

A “dureza” da água é causada essencialmente pela presença de sais de cálcio e magnésio, sendo considerada “dura” quando existem valores significativos destes sais e “macia” quando contém pequenas quantidades. Os níveis de dureza da água da EPAL situam-se entre 40 mg/L e 170 mg/L de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), sendo o valor médio 80 mg/L, traduzindo uma água macia ou de dureza média. Nestas gamas, a dureza da água não apresenta risco para a saúde do consumidor.

## 4 Processos de *revamping* de grupos eletrobomba

O processo de *revamping* de um grupo eletrobomba deve ser encarado como uma reforma em que se considere vantajosa a sua implementação. Este processo deve, numa primeira fase, controlar a condição de funcionamento do grupo eletrobomba, nomeadamente recorrendo a termografias, avaliação de vibração e ensaios de rendimento. Com base nos indicadores do controlo de condição, deve-se concluir sobre a necessidade de realização de uma intervenção bem como sobre a sua profundidade ou abrangência. Será uma boa prática a realização de avaliações globais do sistema elevatório, que permitam validar as condições de funcionamento, dentro dos valores de projeto, visando uma global adequação a todos os órgãos e proteções existentes. Na Figura 47 apresentam-se os aspetos que devem ser observados para validar o funcionamento de grupos elevatórios. No âmbito deste trabalho foram desenvolvidas fichas simplificadas para se materializar as avaliações que se consideram vitais.

As referências a INSP\_01, INSP\_02-1/INSP\_02-2, INSP\_03-1/INSP\_03-2/INSP\_03-3, INSP\_04, INSP\_05-1/ INSP\_05-2 e INSP\_06, dizem respeito aos modelos dos registos, desenvolvidos no âmbito deste trabalho, de suporte às atividades desenvolvidas, que se pretende poderem vir a ser modelos a utilizar no futuro pela EPAL, no seu modelo de gestão da manutenção.

A avaliação de desempenho de grupo eletrobomba, para além do registo INSP\_03-1 que é uma folha de cálculo que facilita a introdução dos dados recolhidos nos ensaios e elabora automaticamente a análise gráfica correspondente, tem como suporte de atuação um procedimento descrito no Procedimento de avaliação de desempenho (grupos eletrobomba, no presente trabalho descrito no ANEXO C. O controlo de condição é feito com base nos princípios descritos no ANEXO D e materializada em termos de registos no INSP\_02-1 de vibrometria e no INSP\_02-2 de termografia.

No abastecimento de água, um grupo eletrobomba de uma estação elevatória, insere-se num ***sistema de elevação/sistema elevatório*** de água potável, que é composto por:

- Reservatório de aspiração;
- Condutas de aspiração;
- Grupos eletrobomba;
- Condutas de compressão;
- Conduta de elevação;
- Conduta de entrada no reservatório de destino;

▪ Reservatório de destino de elevação.

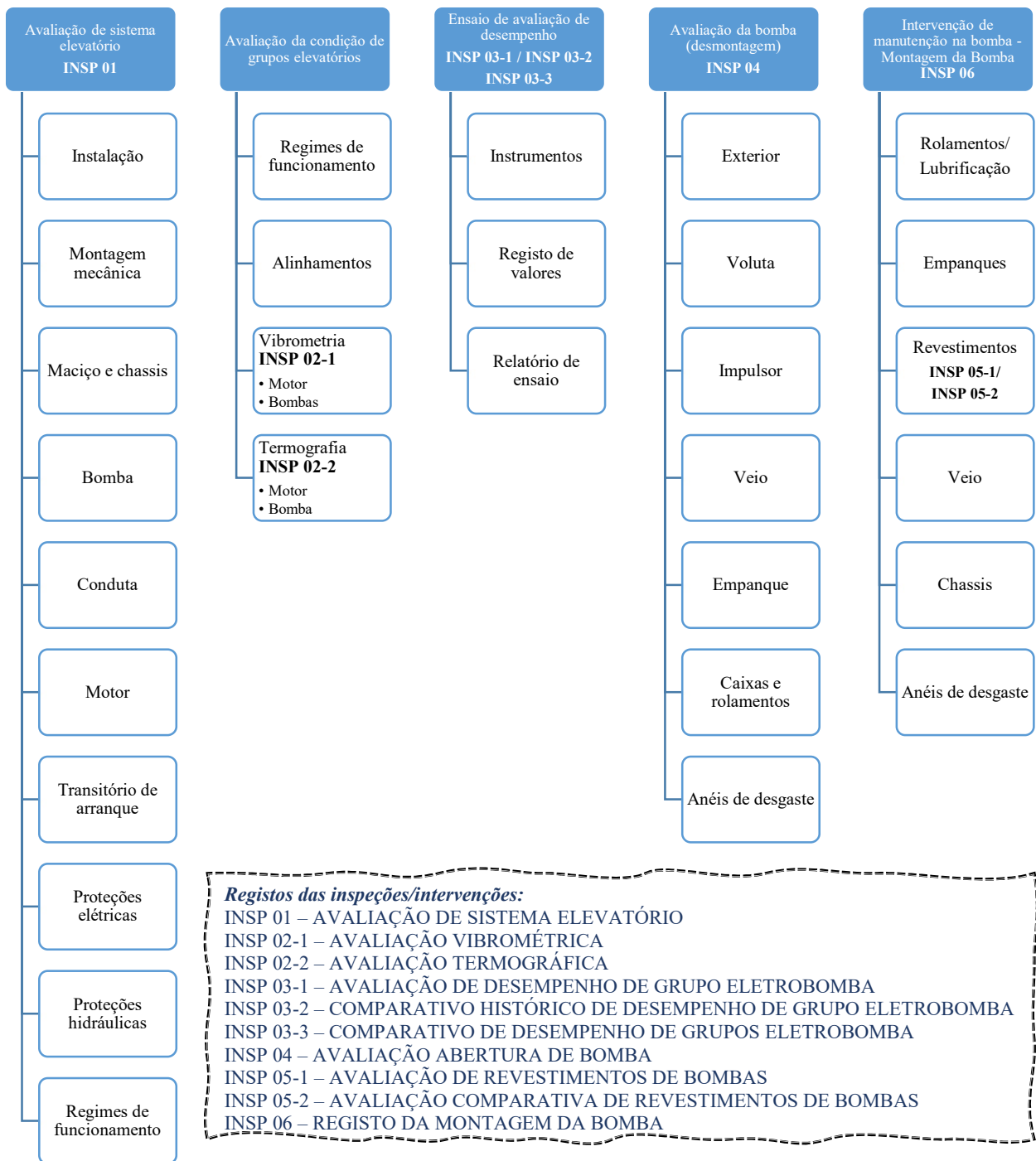
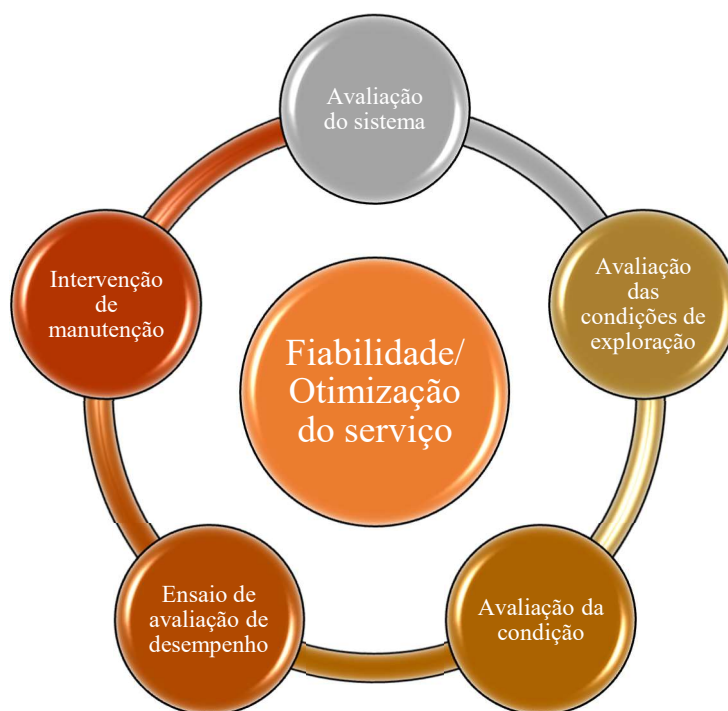


Figura 47 – Atividades do sistema de gestão da manutenção

Todas as componentes do sistema elevatório influenciam o funcionamento dos grupos eletrobomba. A gestão da manutenção permanente deste tipo de infraestruturas, deve contemplar, recursivamente, a execução das atividades representadas na Figura 48.



*Figura 48 – Sistema de gestão da manutenção de sistemas elevatórios*

O trabalho a realizar incidirá sobre 3 grupos eletrobomba de duas estações elevatórias nomeadamente de Curvaceiras e Madeiras.

Na estação elevatória de Curvaceiras, um dos patamares altimétricos de elevação é para o reservatório de Soudos, existindo 4 grupos com possibilidade de elevar água para este reservatório. A estação elevatória tem cerca de 32 anos, sendo que esta zona de elevação foi alvo de um aumento de capacidade de elevação há cerca de 20 anos. Sabendo-se que o grupo 1 e o grupo 3 foram alvo de intervenção nos últimos 5 anos e que mantêm boa capacidade de elevação, foram seleccionados os grupos 2 e 4 para avaliação no âmbito deste trabalho. Estes grupos têm motores de potência 30 kW do ano de 2019 (eficiência IE4) e bombas com caudal nominal de 209 m<sup>3</sup>/h e altura nominal 29 m.c.a.. O critério de seleção do primeiro grupo a intervir é o da menor capacidade de elevação (menor caudal), atendendo a que este sistema requer com frequência a utilização de três grupos em paralelo, importando maximizar o caudal elevado.

Na estação elevatória de Madeiras existem dois grupos elevatórios com cerca de 29 anos de serviço, que nunca tiveram nenhuma manutenção de maior profundidade. Ambos os grupos trabalham para o mesmo reservatório no Alto de Dom Luís. São grupos com motores de 45 kW e bombas de caudal nominal de 187,5 m<sup>3</sup>/h e altura nominal de 50,6 m.c.a.. No que diz respeito ao grupo 1, tem um motor WEG IE3 recente, de 2016, que substituiu o motor EFACEC BF5 por motivo de avaria. O grupo 2 mantém a constituição de origem quer a nível de motor, quer

no que respeita à bomba. A prioridade de intervenção deverá ser o grupo 2, aproveitando-se esta intervenção para avaliar o potencial de ganho na substituição do motor EFACEC, por um mais eficiente. Independentemente da situação, foram realizados ensaios prévios de avaliação de desempenho aos dois grupos da EE de Madeiras, para se determinar a melhor opção em termos de prioridade de intervenção. No âmbito deste trabalho foi realizada apenas uma intervenção na estação elevatória de Madeiras. Os períodos disponíveis para a realização da intervenção, não existindo limitações de outra ordem, considerou-se apenas desejável que os dois grupos pudessem estar disponíveis durante o verão, nos períodos expectavelmente de maior consumo de água.

Um dos aspetos a realçar nestas intervenções é o facto de se pretender aplicar revestimentos com características mecânicas distintas, nas volutas das três bombas: Hempel/Loctite, Belzona e BS Coatings. Pretende-se assim que seja possível avaliar o impacto imediato no desempenho das bombas após a intervenção, mas também criar condições para se poder avaliar a sua degradação ao longo do tempo. A avaliação contínua destes bens é muito importante para alicerçar a tomada de decisão.

As intervenções realizadas incluíram sistematicamente a realização de um conjunto de inspeções, que se pretende possam contribuir para melhorar a gestão da manutenção:

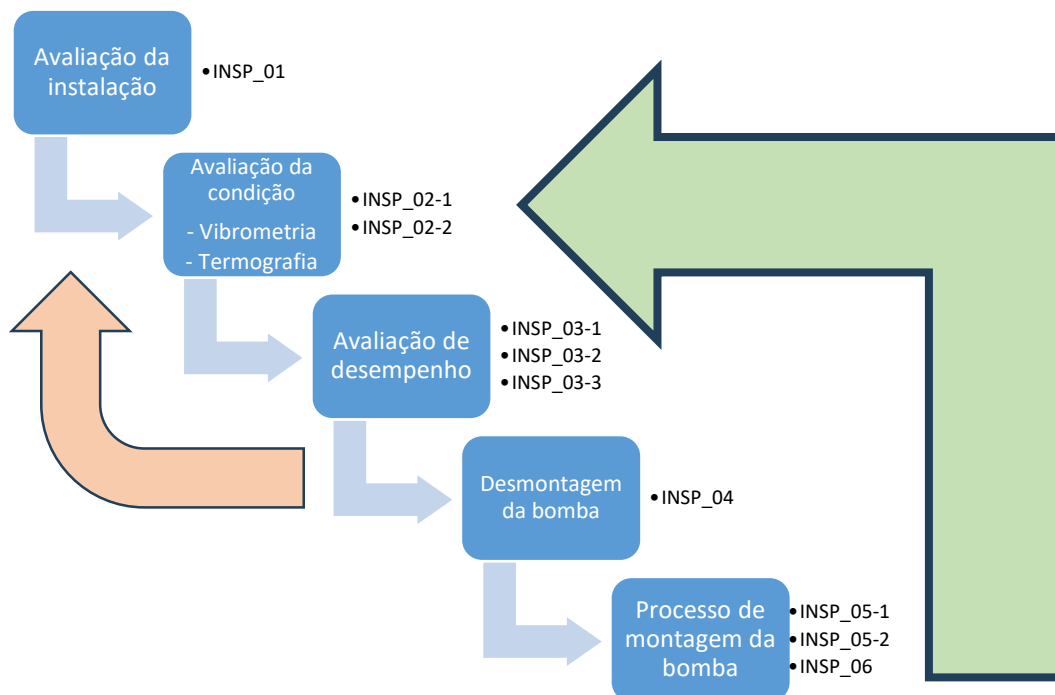


Figura 49 – Processo recursivo de atividades de gestão da manutenção (com registro de inspeções)

## 4.1 Sistemas elevatórios em avaliação

O sistema do Médio Tejo é composto por várias condutas gravíticas e por algumas estações elevatórias, desde a zona de Ourém, mais a norte, até à zona de Santa Margarida da Coutada a sul. É um sistema de média dimensão no âmbito da atividade da EPAL. A origem da água de todo o sistema é exclusivamente a barragem de Castelo do Bode com o seu tratamento na ETA da Asseiceira. No sistema do designado Médio Tejo serão considerados dois sistemas elevatórios: EE Curvaceiras – Res. de Soudos (Figura 50) e EE Madeiras – Res. Alto de Dom Luís (Figura 51). Alguma informação adicional pode ser analisada no ANEXO E.

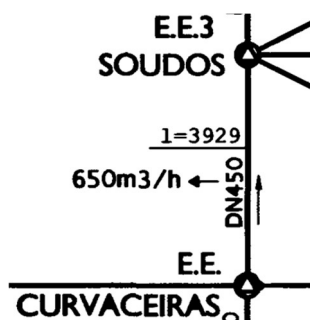


Figura 50 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Curvaceiras – Res. de Soudos [34]



Figura 51 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Madeiras – Res. Alto de Dom Luís [34]

### 4.1.1 Sistema elevatório EE de Curvaceiras – Reservatório de Soudos

Este sistema elevatório - Figura 52, ao ser abastecido graviticamente, requer uma avaliação do modo como se procede ao carregamento do reservatório de Curvaceiras, avaliando eventuais oportunidades de melhoria.

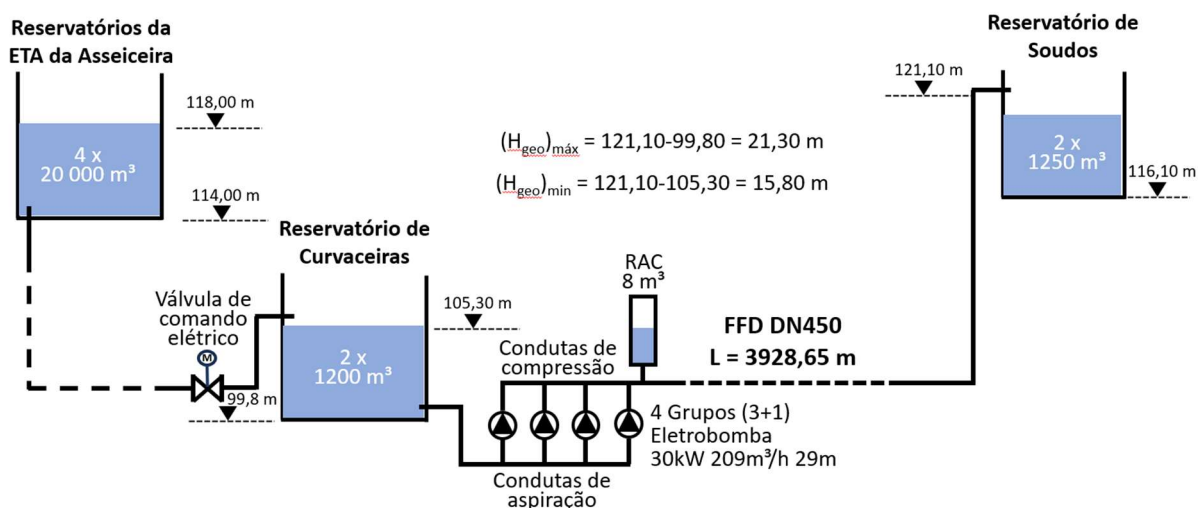


Figura 52 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Curvaceiras – Res. de Soudos

#### 4.1.2 Sistema elevatório EE de Madeiras – Reservatório de Alto de Dom Luís

Este sistema elevatório - Figura 53, à semelhança do anterior, por ser abastecido graviticamente, requer uma avaliação do modo como se procede ao carregamento do reservatório de Madeiras, avaliando eventuais oportunidades de melhoria.

#### SISTEMA ELEVATÓRIO EE MADEIRAS – RESERVATÓRIO ALTO DE DOM LUÍS

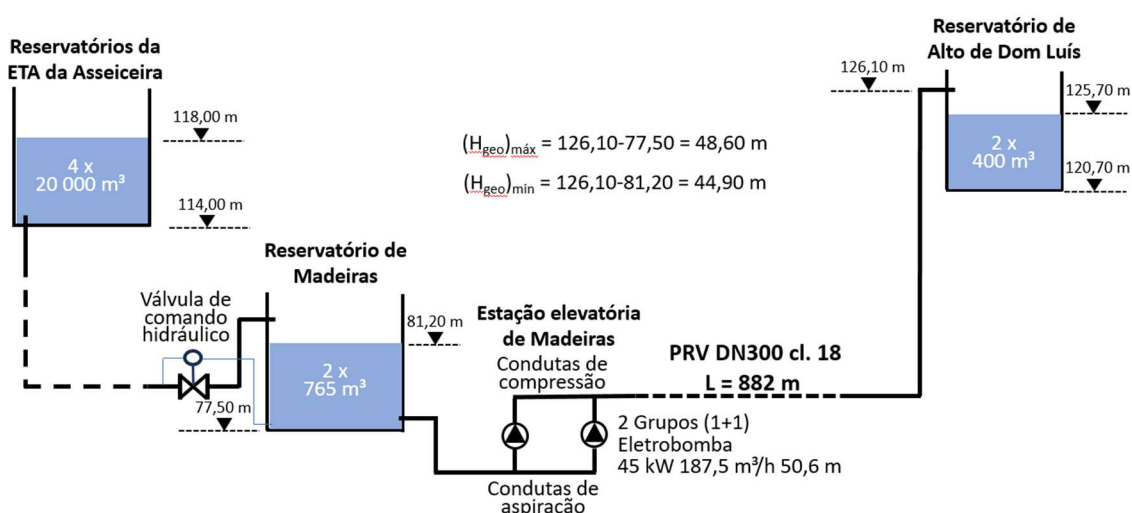


Figura 53 – Representação esquemática do sistema elevatório EE Madeiras – Res. de Alto de D. Luís

#### 4.2 Avaliação do funcionamento de grupos eletrobomba de água potável

À semelhança do que acontece em qualquer instalação industrial, o projeto de uma estação elevatória de água determina fortemente a sua fiabilidade ao longo da sua vida útil, bem como o seu desempenho. Sendo este tipo de projetos um assunto multidisciplinar, é importante elencar a natureza dos conhecimentos técnicos relevantes, conforme Figura 54, que suportam o bom funcionamento dos bens ao longo da sua vida útil.

Os grupos eletrobomba são normalmente acompanhados de perto por engenheiros mecânicos e por eletrotécnicos por serem as especialidades que devem avaliar com maior frequência estes bens. A terminologia da manutenção assume um papel fundamental destacando-se a NP EN 13306:2021 onde se deve consultar um conjunto de conceitos de enorme relevância nesta temática [35], que são determinantes na implementação de estratégias de gestão da manutenção, assegurando a necessária transversalidade da linguagem:

**Avaria** – Estado de um bem inapto para cumprir uma função requerida, excluindo a incapacidade devida à manutenção preventiva ou outras ações programadas, ou devida à falta de recursos externos.

**Bem** – Qualquer elemento, componente, aparelho, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema pode ser considerado individualmente.

**Ciclo de vida** – Série de etapas pelas quais um bem passa, desde a sua conceção até à eliminação.

**Controlo de condição** - Atividade, realizada manual ou automaticamente, destinada a medir em intervalos predeterminados as características e os parâmetros do estado físico real de um bem.

**Falha** - Perda da capacidade de um bem para cumprir uma função requerida.

**Fiabilidade** – Aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo.

**Gestão da manutenção** - Todas as atividades de gestão que determinam os requisitos de manutenção, objetivos, estratégias e responsabilidades, e a implementação destas por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e a melhoria das atividades de manutenção e aspetos económicos.

**Inspeção** - Exame de conformidade através da medição, observação ou teste das características relevantes de um bem.

**Manutenção** – Combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida.

**Modo de falha** – Maneira como ocorre a incapacidade de um bem para executar uma função.

**Vida útil** – Intervalo de tempo desde a primeira utilização até ao instante em que um estado limite é atingido.



Figura 54 – Áreas do conhecimento necessárias para projetar, executar e manter um sistema elevatório

Na Figura 55 representa-se, noutra perspetiva, todos os equipamentos e especialidades que orbitam em torno da fiabilidade e eficiências das estações elevatórias.



*Figura 55 – Sistemas elevatórios: componentes de avaliação para se assegurar a sua fiabilidade*

#### 4.3 Alinhamento de motor com bomba - transversal às intervenções realizadas

Após as intervenções de manutenção que serão descritas em 4.4, 4.5 e 4.6, previamente aos ensaios de arranque, é necessário proceder ao alinhamento do motor com a bomba, com objetivo de minimizar os esforços (empanques, veios, rolamentos e acoplamentos) de um equipamento no outro. Idealmente o acoplamento do motor à bomba só proporciona a transmissão de potência para a realização de trabalho. Os alinhadores atuais possuem miras laser que são colocados nos veios dos motores e das bombas e digitalmente informam qual a altura a colocar ou a retirar (na forma de calços) dos pés dos equipamentos. É também necessário proceder ao alinhamento horizontal, normalmente realizado com recurso a afinadores instalados no chassis. Quer os afinadores quer um meio de elevação de cargas, assumem papel de enorme relevância em todo o processo. Na Figura 56 é apresentado o processo de alinhamento que requeria a execução de cálculos para se poder determinar as ações a realizar para se proceder ao alinhamento. Na Figura 57 é possível observar a consola e as miras laser essenciais ao processo.

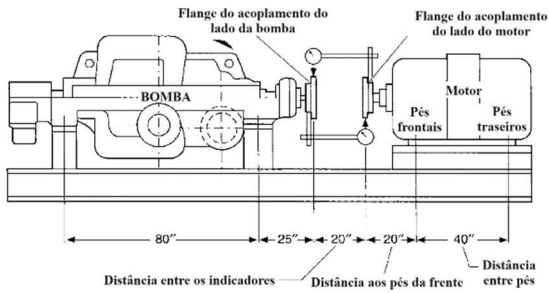


Figura 56 – Metodologia antiga de alinhamento de motor com bomba (adaptado de [36])



Figura 57 – Metodologia atual, com recurso a laser para alinhamento de motor com bomba [37]

#### 4.4 Intervenção 1: EE Curvaceiras – Grupo 2 Soudos (abr-mai2023)

Neste sistema elevatório, avaliando-se a informação disponível no SCADA - Gráfico 9, constata-se que o grupo 2 e grupo 4 apresentam uma capacidade de elevação, significativamente inferior aos grupos 1 e 3. Comparando apenas o grupo 2 e o grupo 4, embora os valores de caudal sejam muito semelhantes, o grupo 2 denota ter ligeiramente menor capacidade de elevação. Valida-se assim a prioridade de intervenção no grupo 2.

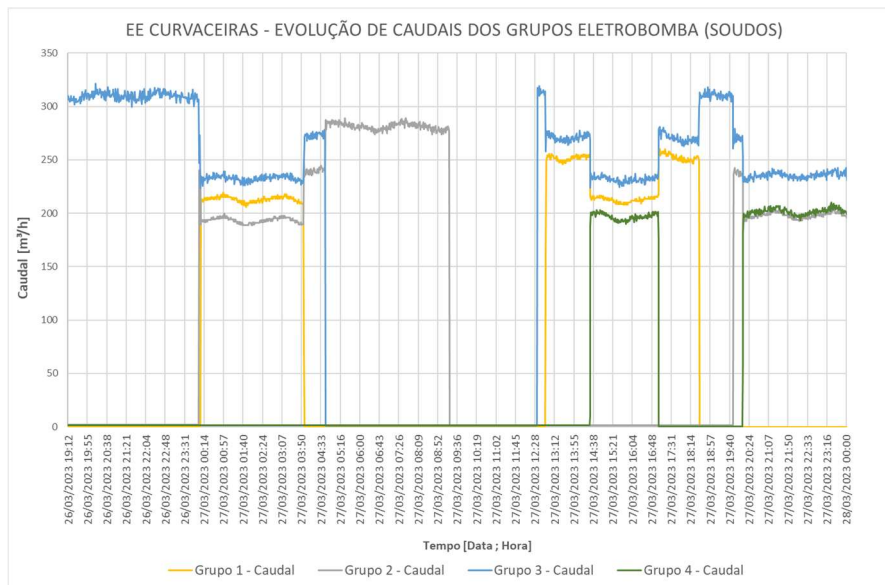


Gráfico 9 – Evolução de caudais na estação elevatória de Curvaceiras nos grupos eletrobomba com destino ao reservatório de Soudos. Fonte: SCADA.

##### 4.4.1 Avaliação do sistema elevatório

No ANEXO E é apresentada uma avaliação da informação existente no SCADA que permite a obtenção de ganhos energéticos na gestão da elevação do sistema, por otimização do nível do reservatório de aspiração (Reservatório de Curvaceiras).

O ANEXO F contém todos os registos dos trabalhos realizados no Grupo 2 da EE Curvaceiras – elevação para Soudos, com avaliação global do sistema elevatório. Atendendo à dimensão dessa informação, opta-se por ficar disponível em anexo, salientando-se no corpo do relatório os temas de maior relevância para o trabalho.

Um dos pontos em avaliação é o modo como o circuito hidráulico alimenta a bomba, não devendo ter ventusas, uma vez que para pressões inferiores à atmosférica faria admissão de ar, prejudicial ao normal funcionamento da bomba. Os cones de redução são uma necessidade atendendo a que os circuitos de aspiração têm uma dimensão para que a velocidade não ultrapasse os 2 m/s e na entrada da bomba as velocidades são superiores. Assim, as reduções de diâmetro devem ser executadas com cones excêntricos com a zona reta do lado superior, evitando a presença de ar no carregamento do circuito, que se encaminharia paulatinamente para a bomba durante o período de funcionamento, conforme o exemplificado da Figura 58.

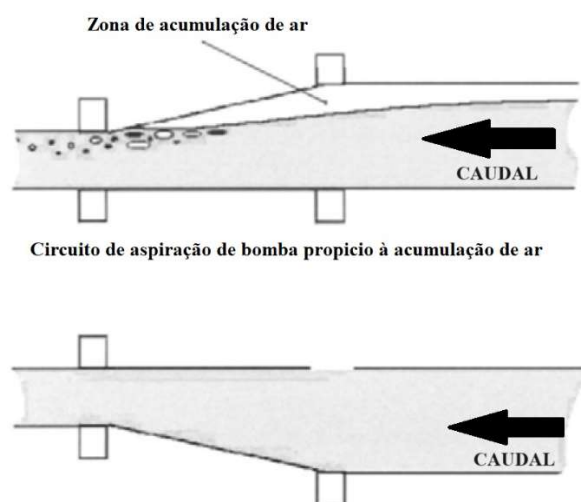


Figura 58 – Exemplo de circuitos hidráulicos de aspiração de bombas (adaptado de [38])

#### **4.4.2 Avaliação do desempenho (antes da intervenção de manutenção)**

No dia 3 de abril de 2023 foi realizado o ensaio de desempenho do grupo 2. Na Figura 59, e Gráfico - 10 é possível ver os registos do ensaio e os resultados dos cálculos efetuados. Toda a análise indica que a bomba deste grupo, embora para o tempo de serviço não apresente uma perda de rendimento significativa, pode ser melhorada para níveis ótimos.

Em primeiro lugar, digno de registo, está a maior capacidade da bomba em elevar água para uma pressão superior face aos ensaios de fábrica (2002), para os primeiros quatro pontos de ensaio, ou seja, para caudais inferiores a 150 m<sup>3</sup>/h. Esta situação deve ser reavaliada após reabilitação da bomba, uma vez que é um resultado claramente inesperado uma vez que a geometria do impulsor, não sendo alterada, não deveria possibilitar a imposição de uma maior

pressão por exemplo para caudal nulo. Em termos de caudal máximo a bomba estará a perder apenas 3,3 % o que, para 21 anos de serviço, não constitui um valor significativo.

Ao nível do rendimento, para caudais superiores a 200 m<sup>3</sup>/h, a bomba está a perder quatro pontos percentuais praticamente em toda a zona de funcionamento.

Atendendo a que o motor é de alta eficiência (IE4), substituído em 2019, o rendimento do grupo acaba por não desiludir uma vez que se situa próximo dos 70 %, para a zona de funcionamento de mais do que um grupo a trabalhar em paralelo.

No indicador ERSAR - AA16ab este grupo apresenta valores compreendidos entre 0,39 e 0,44 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m, sendo este um resultado bastante aceitável.

Data		03/abr/23		Responsável		Miguel Fernandes			
Estação Elevatória		Curvaceiras		Destino Elev.		Res. Soudos			
				Grupo		2			
MOTOR		Marca	WEG	Modelo	W22 SUPER PREMIUM	S/N	1051123805	P [kW]	30
BOMBA		Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125-315	S/N	22843002	Q <sub>n</sub> [m <sup>3</sup> /h]	209
								H <sub>n</sub> [m]	29

Tomando como referência a cota do eixo da bomba:		
DN Medidor de caudal	150	mm
DN Tubo aspiração	300	mm
DN Tubo compressão	200	mm
DN da conduta	450	mm
Material conduta	FFD	
Extensão da conduta (L)	3622	m

Cota do sensor de pressão da aspiração	300	mm
DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	212,5	mm
Cota do sensor de pressão da compressão	1270	mm
DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	200	mm
Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	1200	mm
DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	450	mm
g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m <sup>3</sup> /h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1 .	03/04/2023 10:36	0,42	2,51	2,46	1489	279,0	26,60	419	4,386
2 .	03/04/2023 10:42	0,41	2,71	2,44	1489	258,1	25,50	423	4,057
3 .	03/04/2023 10:48	0,41	2,84	2,42	1490	241,3	24,80	423	3,792
4 .	03/04/2023 10:53	0,42	3,05	2,38	1491	207,7	22,80	422	3,264
5 .	03/04/2023 10:57	0,42	3,35	2,30	1493	123,5	17,50	423	1,941
6 .	03/04/2023 11:00	0,44	3,51	2,06	1496	0,0	11,30	423	0,000

Tabela 1 - Dados de ensaio

Figura 59 – INSP\_03-1 EE Curvaceiras – Soudos: Grupo 2

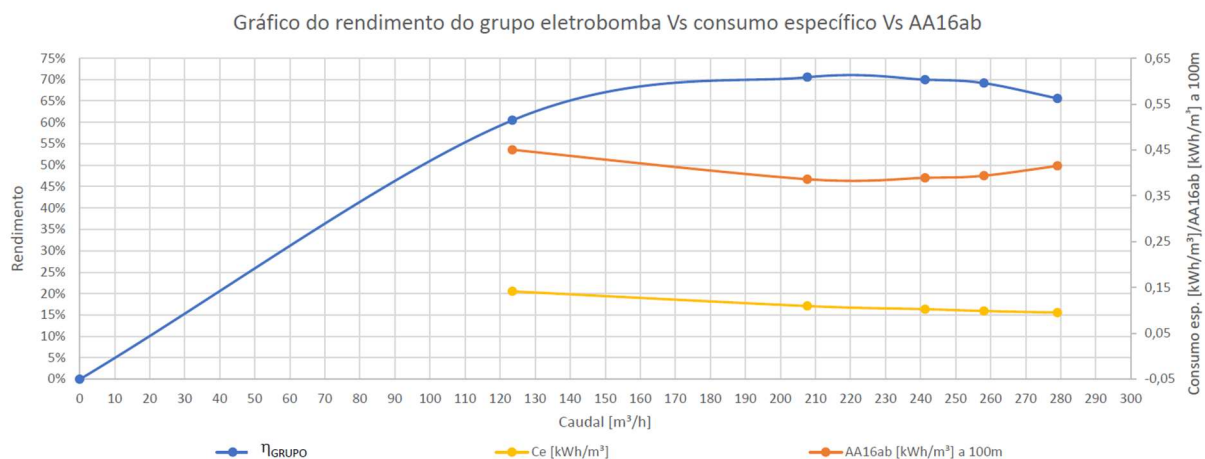


Gráfico - 10 – INSP\_03-1 EE Curvaceiras – Soudos: Gr. 2 – Rendimento de grupo/consumo específico/AA16ab

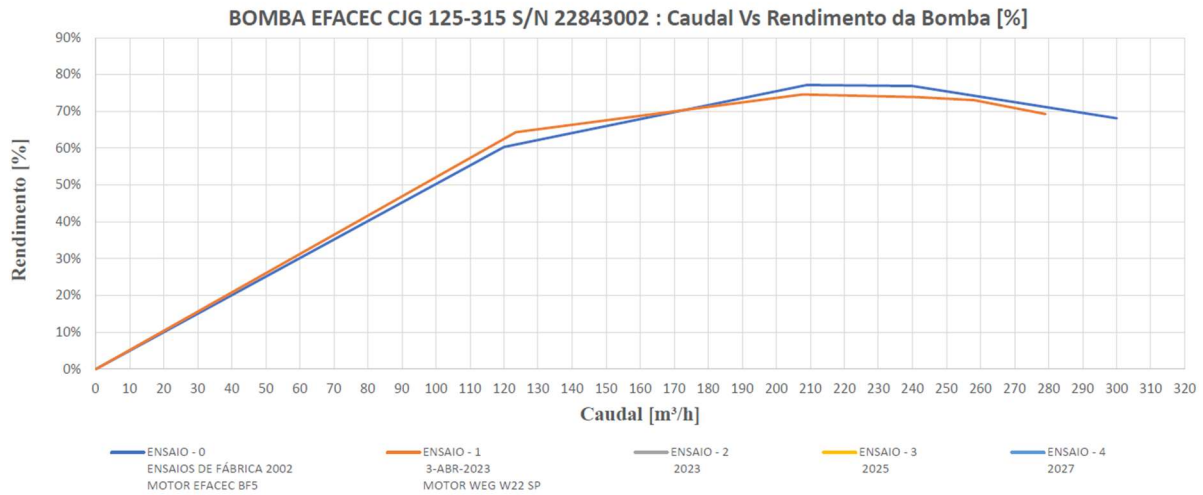


Gráfico - 11 – INSP\_03-2 de EE Curv. – Soudos: Gr. 2 – Comparativo histórico

Os resultados dos ensaios bem como toda a informação devidamente tratada encontra-se no ANEXO F (Registos: INSP\_03-1 e INSP\_03-2 de 3ABR2023).

#### 4.4.3 Controlo de condição (antes da intervenção): vibrometria e termografia

O grupo eletrobomba não indicia ter nenhum problema mecânico ou elétrico que possa ser reconhecido com base na análise de vibrometria ou termográfica. No Gráfico - 12 é possível constatar, em todo o espectro sob avaliação, valores muito diminutos ao nível da amplitude do espectro do envelope de aceleração. Valores elevados significariam avarias ao nível de rolamentos, sendo que para máquinas de 3000 rpm, os valores pico a pico teriam de ser superiores a 4 gE.

##### 2. Envelope de aceleração

PICO A PICO	ROMR	RAMR	RAMA	ROBR	RABR	RABA
	1,364 gE	0,315 gE	2,704 gE	0,635 gE	0,889 gE	0,647 gE

(SKF-Envelope de aceleração) [gE]  
3000 rpm

<4	4-10	≥10
----	------	-----

MOTOR WEG W22 S. PREM. SN 1051123805 + BOMBA EFACEC C/JG 125-315 SN 22843002  
Envelope de aceleração gE (EE CURVACEIRAS GRUPO 2) - 12ABR2023

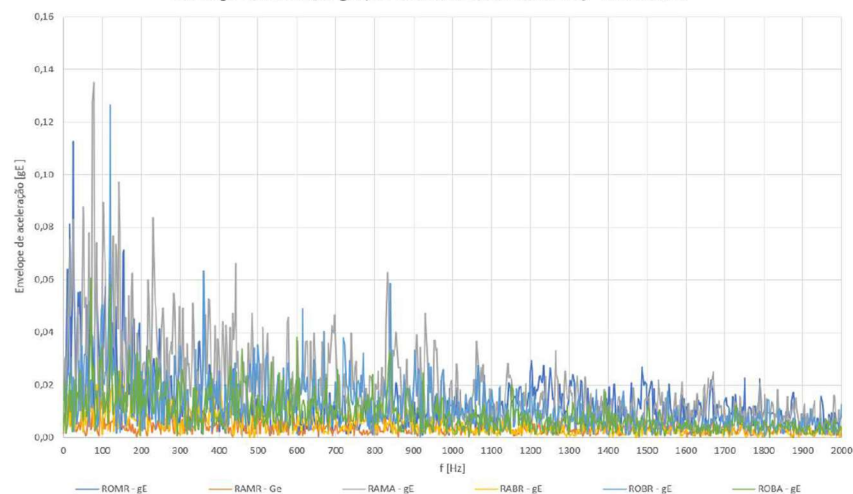


Gráfico - 12 – INSP\_02-1 EE Curvaceiras – Soudos: Grupo 2 – envelope de aceleração

Os resultados dos ensaios vibrométricos e termográficos encontram-se no ANEXO F, respetivamente nos registos INSP\_02-1 e INSP\_02-2.

#### 4.4.4 Avaliação da abertura da bomba

A abertura da bomba revelou a inexistência de indícios de problemas mecânicos, registando-se que o maior desgaste se situava ao nível do revestimento exterior - Figura 60.

##### 1. Avaliação da bomba antes da desmontagem

1.1 Conservação do revestimento exterior	Degradado.
1.2 Estado da flange de compressão	Satisfatório
1.3 Estado da flange de aspiração	Satisfatório
1.4 Estado dinâmico do conjunto rotórico	Nada a registar
1.5 Estado das alhetas de aspiração do impulsor	Bom
1.6 Estado do veio	Nada a registar
1.7 Estado do acoplamento	Intacto
1.8 Estado do empanque	Bom
1.9 Estado da caixa de rolamentos	Bom
1.10 Avaliação de perdas de óleo	Sem perda de óleo



**Observações** A receção da bomba em oficina revelou uma condição muito boa em termos mecânicos, apenas com registo de perda de revestimento exterior.

Figura 60 – INSP\_04 - Avaliação da abertura da bomba do Grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos

A informação respeitante à abertura da bomba encontra-se no ANEXO F (Registo: INSP\_04).

#### 4.4.5 Avaliação de revestimentos

A avaliação de revestimentos nesta bomba foi efetuada ao nível das espessuras de revestimentos, para se poder em próximos ensaios e avaliações, determinar o nível de desgaste face ao número de horas de funcionamento. Na Figura 61 é possível avaliar o trabalho de aplicação de revestimento no interior e no exterior da bomba.



Figura 61 – INSP\_05-1 - Avaliação de revestimentos da bomba do Gr. 2 da EE Curvaceiras - Soudos

A informação respeitante à avaliação dos revestimentos da bomba encontra-se no ANEXO F (Registo: INSP\_05-1).

#### 4.4.6 Avaliação do desempenho (após a intervenção)

Constata-se que, para caudais entre 200 m<sup>3</sup>/h e 280 m<sup>3</sup>/h, a bomba antes da intervenção estava a perder 5 pontos percentuais face aos valores de fábrica e após a intervenção ficou a ganhar 5 pontos percentuais face aos valores de fábrica.

Para um grupo de 30 kW consegue-se obter após intervenção de manutenção um valor de rendimento superior a 75 % na maioria dos pontos de funcionamento, um resultado muito satisfatório.

A curva da instalação é obtida com base em medidas de pressão a jusante da válvula de regulação com o transmissor de pressão residente na instalação, razão pela qual se admite que a diferença entre o valor de altura da bomba e o valor da instalação se deve a um erro do transmissor de pressão da instalação.

No que diz respeito ao indicador ERSAR AA16ab, foi possível obter valores inferiores a 0,39 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m, sendo que para caudais entre os 200 m<sup>3</sup>/h e os 280 m<sup>3</sup>/h este indicador assume valores inferiores a 0,37 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m.

Na Figura 62 é possível verificar os resultados obtidos durante o ensaio de avaliação de desempenho. Na Gráfico - 13 é possível observar o bom desempenho quer do grupo eletrobomba, quer da bomba intervencionada. Finalmente no Gráfico - 14 verifica-se o impacto do trabalho realizado, comparando a curva de fábrica com as curvas antes e depois da intervenção de manutenção.



Figura 62 –INSP\_03-1- EE Curvaceiras – Soudos: Gr. 2 (após intervenção de manutenção)

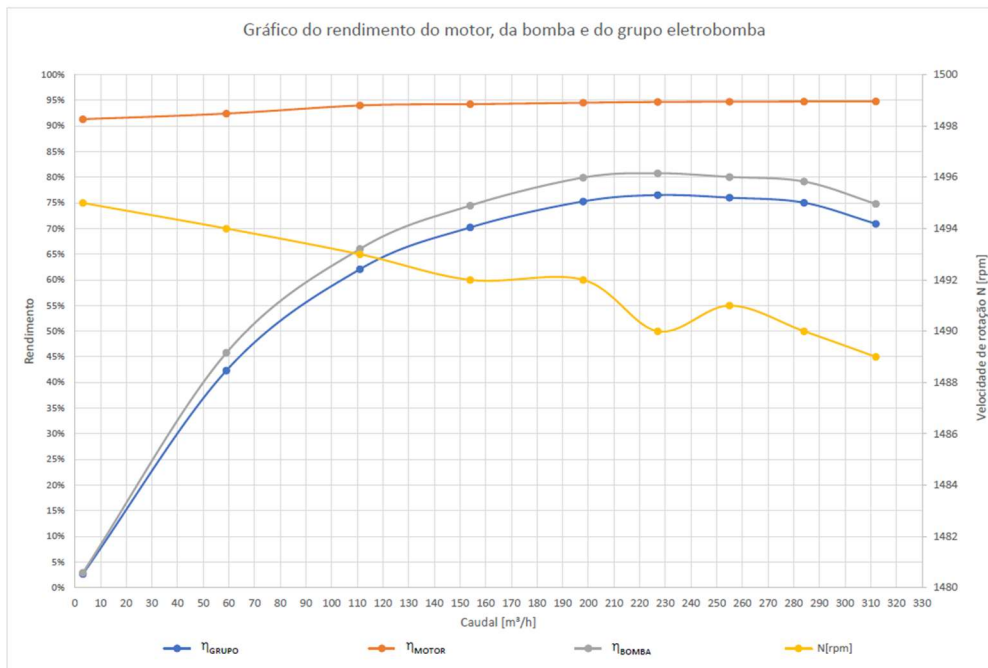


Gráfico - 13 – INSP\_03-1 de EE Curvaceiras – Soudos: Gr. 2 – Avaliação de desempenho

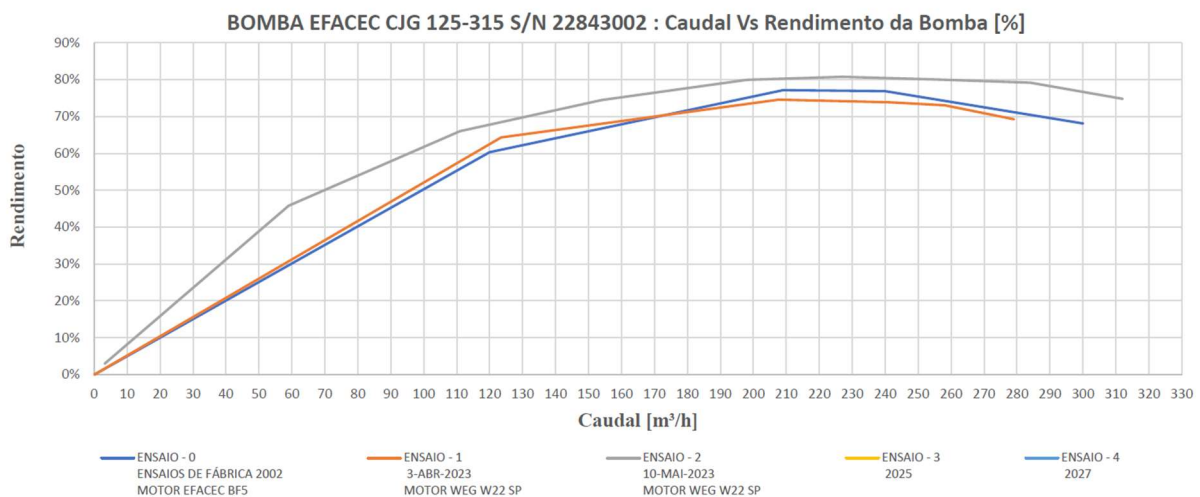


Gráfico - 14 – INSP\_03-2 de EE Curv. – Soudos: Gr. 2 – Comparativo histórico de rendimentos da bomba

Os resultados dos ensaios bem como toda a informação devidamente tratada encontra-se no ANEXO F (Registos: INSP\_03-1 e INSP\_03-2 de 10MAI2023).

#### 4.4.7 Controlo de condição (após a intervenção): vibrometria e termografia

Ao nível vibrométrico e termográfico foi possível validar a qualidade da intervenção, melhorando o rendimento e não havendo indícios de qualquer problema mecânico. Para avaliação de temperatura numa caixa de rolamentos, valores estáveis inferiores a 60 °C, não deverão corresponder a uma situação fora do normal.

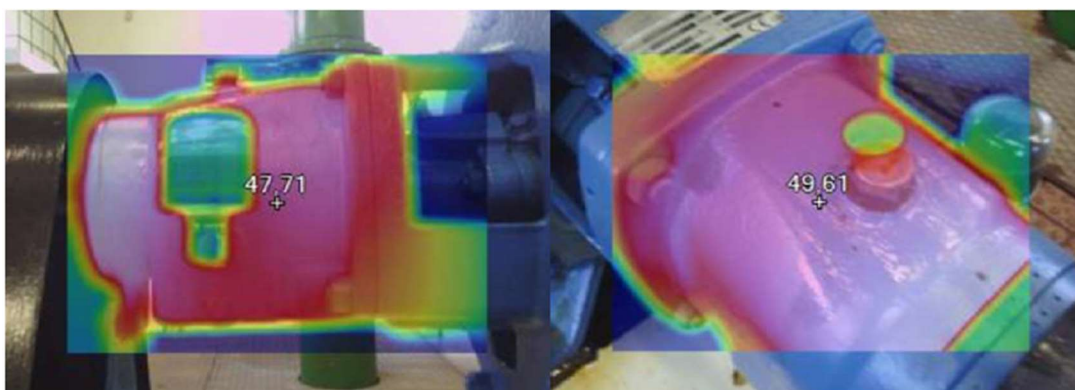


Figura 63 –INSP\_02-2 - EE Curv. – Soudos: Grupo 2 – Avaliação termográfica

Os resultados dos ensaios bem como toda a informação devidamente tratada encontra-se no ANEXO F (Registos: INSP\_02-1 e INSP\_02-2 de 30MAI2023).

#### 4.5 Intervenção 2: EE Madeiras – Grupo 2 (abr-jul2023)

A avaliação de gabinete realizada em março de 2023 com recurso ao SCADA é apresentada nos Gráfico - 15 e Gráfico - 16. Constata-se que ambos os grupos apresentam uma diminuição muito significativa da sua capacidade de elevação nominal.

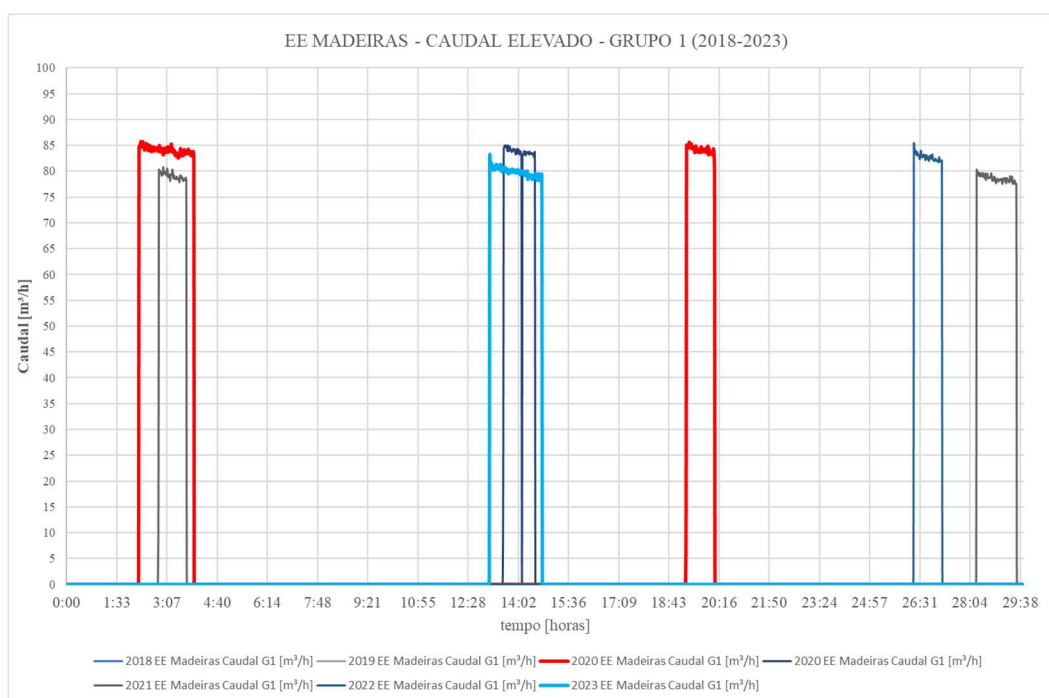


Gráfico - 15 - Curvas de caudais elevados pelo grupo 1

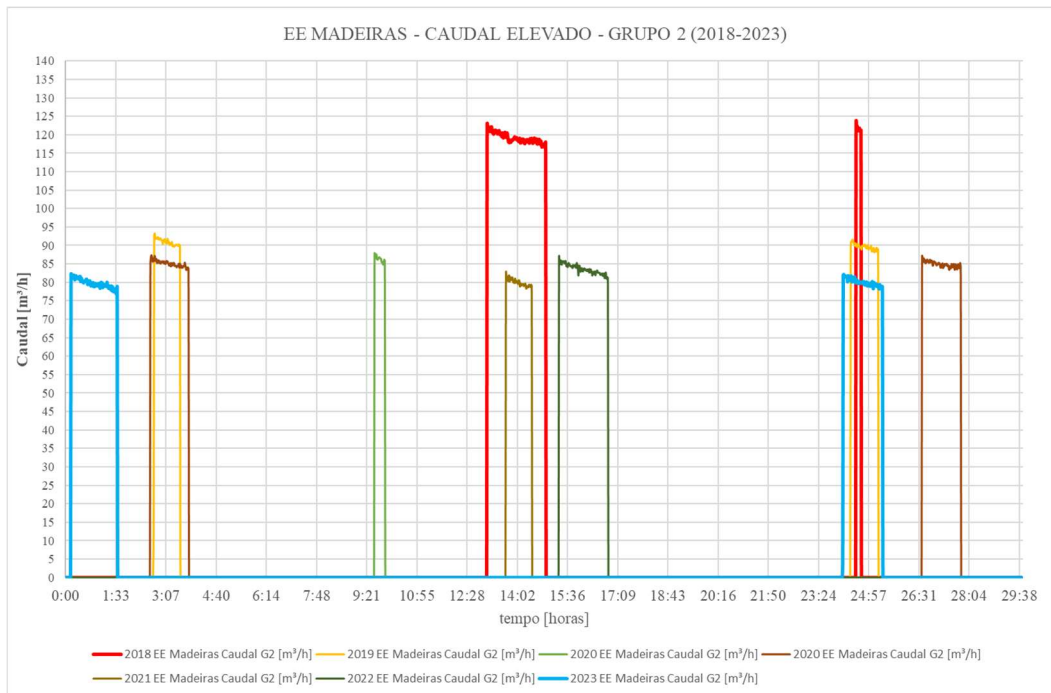


Gráfico - 16 - Curvas de caudais elevados pelo grupo 2

É possível verificar que no dia em análise em 2018 o grupo 2 ainda elevava  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ , mas a partir de 2019 os dois grupos apenas conseguem elevar cerca de  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ . Foi avaliada a curva de fábrica das bombas para a mesma altura manométrica ( $\approx 47 \text{ m}$ ) - Gráfico 17 – concluindo-se que as bombas deveriam elevar entre  $210 \text{ m}^3/\text{h}$  e os  $220 \text{ m}^3/\text{h}$ . Atendendo à diferença verificada, foi com algum entusiasmo que se prepararam os ensaios em campo, por expectavelmente serem dois casos em que a contribuição de diferentes fatores poderia estar a influenciar a aparente degradação em que ambos os grupos se deveriam encontrar.

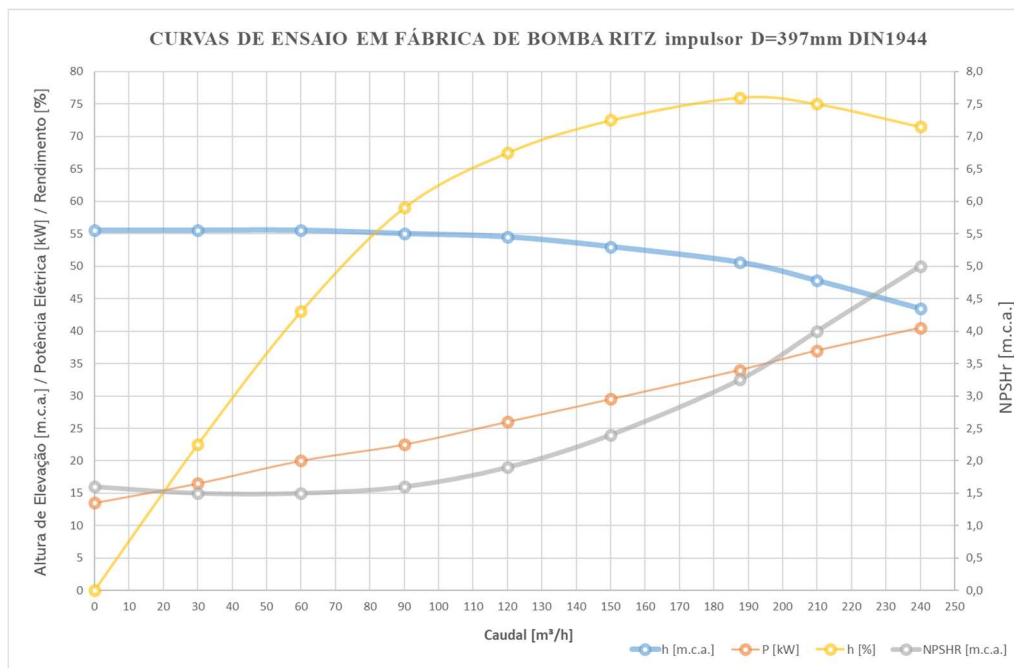


Gráfico 17 - Curvas de ensaio em fábrica das bombas da Estação elevatória de Madeiras

#### ***4.5.1 Avaliação do sistema elevatório***

À semelhança do desenvolvido em 4.4.1, no ANEXO E é apresentada uma avaliação da informação existente no SCADA que permite a obtenção de ganhos energéticos na gestão da elevação do sistema, por otimização do nível do reservatório de aspiração (Reservatório de Madeiras).

O ANEXO G contém todos os registos dos trabalhos realizados no Grupo 1 e no Grupo 2 da EE Madeiras, com avaliação global do sistema elevatório. Atendendo à dimensão dessa informação, opta-se por ficar disponível em anexo, salientando-se no corpo do relatório os temas de maior relevância para o trabalho.

Sabendo-se que nesta estação elevatória apenas poderia ser realizada uma intervenção de manutenção, era natural que se pretendesse seleccionar o grupo 2, para incluir a substituição de um motor EFACEC com 30 anos de serviço, por um motor de alta eficiência. Seria assim possível quantificar também esse ganho qualitativo no sistema elevatório. Privilegiando permanentemente a fiabilidade, optou-se por fazer ensaios de avaliação de desempenho aos dois grupos eletrobomba e, caso os resultados fossem semelhantes, avançar-se-ia para a intervenção global no grupo 2, que incluiria a substituição do motor.

#### ***4.5.2 Avaliação do desempenho (antes da intervenção de manutenção)***

Os ensaios realizados a 3 de abril de 2023, confirmaram o mau desempenho dos dois grupos eletrobomba da EE de Madeiras. O rendimento inferior a 30 % (Gráfico - 18) em ambas as bombas uma reduzida fiabilidade aparentemente injustificável, principalmente por ocorrer simultaneamente em dois grupos. Ao nível das avaliações visuais e auditivas que pessoas experientes nesta indústria conseguem realizar, nenhum problema foi diagnosticado no funcionamento destas bombas.

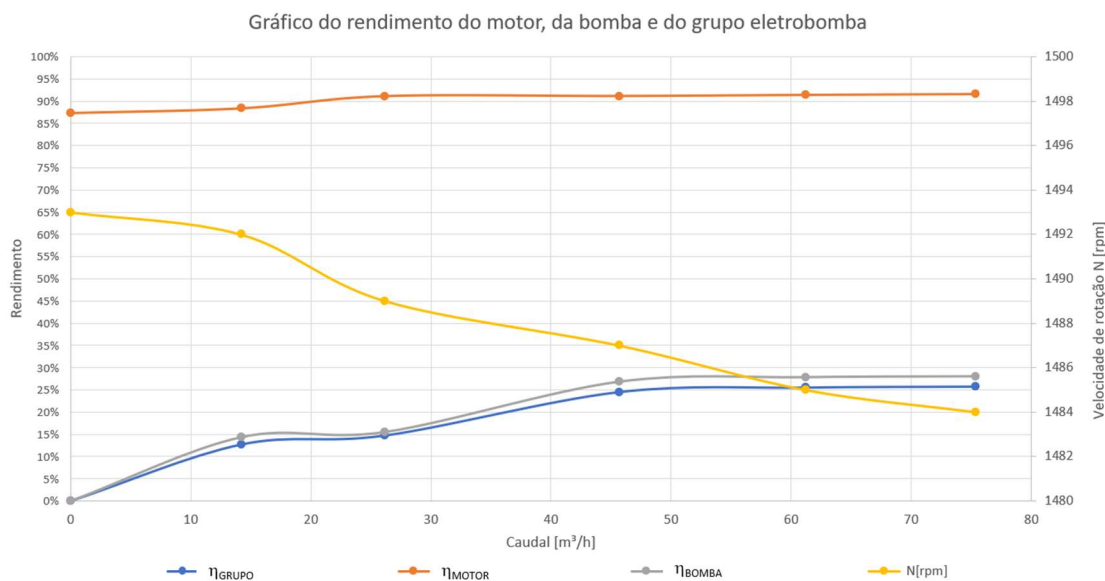


Gráfico - 18 – EE Madeiras – Grupo 2: Resultados dos ensaios de 3ABR2023

### 4.5.3 Controlo de condição (antes da intervenção): vibrometria e termografia

Com resultados semelhantes nos dois grupos nos ensaios de avaliação de desempenho, programaram-se as intervenções de avaliação da condição que foram realizadas a 12 de abril de 2023. Na Figura 64 é possível observar as temperaturas registadas na carcaça e nos circuitos de alimentação do motor do grupo 2 da EE de Madeiras. Os valores estão muito abaixo (aproximadamente metade) dos valores limite quer para o motor que para a cablagem.

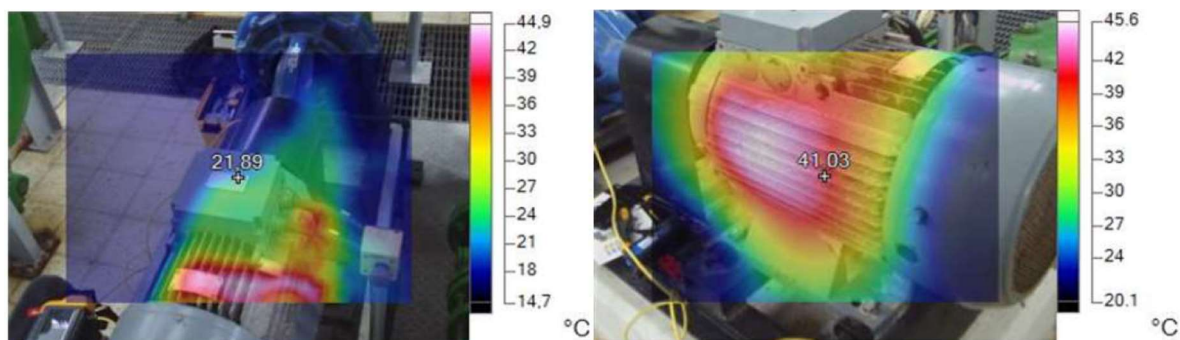


Figura 64 – Termografia ao motor do grupo 2 da EE Madeiras

No ANEXO G pode ser consultada toda a informação pormenorizada respeitante aos trabalhos desenvolvidos no grupo 2 da EE de Madeiras.

### 4.5.4 Avaliação da abertura da bomba

No dia 9 de maio de 2023 procedeu-se à abertura da bomba. A inexistência de folgas na movimentação manual do conjunto rotórico deixava ainda maior suspense nesta atividade. Após a desmontagem não foi encontrada nenhuma evidência de poder haver nenhuma avaria, muito menos com as consequências ao nível de desempenho que foram medidas. Na Figura 65,

Figura 66 e na Figura 67 é possível observar desgastes normais, para uma bomba com um tempo de serviço deste tipo. As folgas nos anéis de estanqueidade não eram igualmente relevantes.



Figura 65 - Voluta

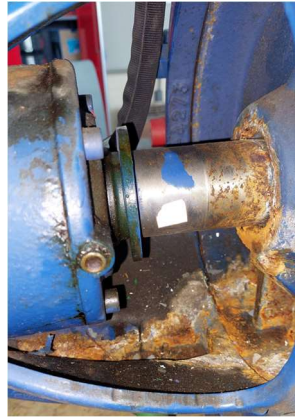


Figura 66 – Caixa e zona do empanque



Figura 67 - Impulsor

Colocando praticamente de parte a hipótese de algum problema na bomba poder justificar os resultados obtidos nos ensaios de desempenho, refletiu-se sobre o enquadramento dos ensaios realizados. Colocou-se a hipótese de desajuste de todos os instrumentos de medida que foram nos ensaios de campo. No caso no analisador de energia, tem tido alguma utilização e nunca se encontraram incoerências. Os transmissores de pressão mediram em linha com os valores geométricos existentes para a instalação, não podendo os erros destes instrumentos ter impacto tão significativos no desempenho medido da bomba. Restava apenas o medidor de caudal eletromagnético que nesta instalação sendo apenas um, poderia implicar simultaneamente um mau desempenho em ambos os grupos eletrobomba.

Foram então solicitadas duas avaliações:

- i. Direção de Operações – Confrontar o volume de água que entra no reservatório do Alto de D. Luís, com o volume medido que daí sai. Com esta informação é possível fazer o “Balanço hídrico” e contabilizar as perdas ou ganhos que o sistema tem ( $\sum Volume_{entra\ no\ sistema} - \sum Volume_{sai\ do\ sistema} \cong 0$ );
- ii. Direção de Manutenção (Instrumentação) – Avaliar o histórico das manutenções de diagnóstico que foram executadas nos últimos anos ao medidor de caudal, para se tentar perceber se poderá haver algum parâmetro que indicie a existência de uma avaria.

Ambos os serviços foram contundentes na resposta após avaliação da informação do histórico, o medidor de caudal de Madeiras certamente tinha uma avaria há algum tempo. O balanço hídrico dava valores negativos diariamente, ou seja, entrava menos água no sistema do que a que era contabilizada na saída. No que diz respeito às avaliações da instrumentação, existia um

relatório de avaliação com um *warning* ao nível das bobinas que geram o campo magnético, para depois se poder aplicar a lei de Faraday (potencial do campo elétrico é proporcional à velocidade do condutor). Foi ainda realizada mais uma avaliação ao medidor de caudal que indicou avaria nas bobinas geradoras do campo eletromagnético.

Este enquadramento de submedição de caudal justifica os resultados errados que foram obtidos nos ensaios de avaliação de desempenho dos grupos eletrobomba. O enquadramento real seria então de melhor desempenho efetivo. Atendendo a que a avaria do medidor de caudal permitia que o mesmo medisse, de forma crescente de modo coerente com a abertura da válvula durante o ensaio, considerou-se a hipótese de substituir o medidor de caudal e aferir a diferença de caudal que se registaria no grupo 1, para a mesma altura de elevação do ensaio de desempenho. Seria assim possível, supondo um erro constante ao longo de toda a zona de medição, fazer uma correção linear dos resultados que tinham sido obtidos.

A 17 de maio de 2023 procedeu-se à substituição do medidor de caudal, seguindo-se a sua parametrização e colocação em serviço conforme Figura 68 e Figura 69.



Figura 68 – Elemento primário do medidor de caudal após colocação em serviço



Figura 69 – Chapa de característica do elemento primário do medidor de caudal

Os seguintes resultados dos ensaios em fábrica deste medidor de caudal, atestam a sua exatidão nos pontos de relevantes ( $Q \leq 280 \text{ m}^3/\text{h}$ ) dos ensaios de desempenho, a realizar no âmbito deste trabalho:

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de calibração em fábrica

Q [L/s]	Q [m <sup>3</sup> /h]	Erro [%]
38,342	138,03	0,08
75,288	271,04	-0,03
144,433	519,96	-0,09

No dia 18 de maio de 2023 fez-se uma avaliação do caudal elevado pelo grupo 1, tendo-se encontrado dois pontos de elevação para a mesma altura, com os seguintes caudais:

*Tabela 8 – Cálculo de constante para correção de resultados obtidos*

<b>Dia</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Relação de valores</b>
3-MAI-2023	74,5	
18-MAI-2023	178	2,389262

É assim possível, com algum erro para os pontos de caudal diferente do valor máximo, corrigir os valores obtidos nos ensaios do dia 3-5-2023. Estes resultados são apresentados no ANEXO G.

#### ***4.5.5 Avaliação de revestimentos***

No início do mês de julho foi rececionado um rugosímetro adquirido para complementar a avaliação de espessuras dos revestimentos. Assim como na lubrificação são muito importantes as rugosidades das superfícies inter-atuantes, também na hidráulica os atritos dos materiais determinam as perdas de carga em linha dos circuitos. Analogamente, na transferência de energia para o fluido, importa obter rugosidades reduzidas. Este fator passou a fazer parte da metodologia de avaliação, visando uma comparação dos diferentes métodos e produtos.

Apresenta-se na Figura 70 a voluta da bomba no momento da receção na ETA da Asseiceira, no Gráfico - 19 os resultados da medição das espessuras e no Gráfico - 20 os resultados das medições de rugosidades. Salienta-se ao nível das rugosidades que as medições permitiram verificar que, em todos os pontos, o  $R_t$  obtido foi inferior a  $4\ \mu\text{m}$ , existindo zonas de grande dimensão com valores de  $R_t$  inferiores a  $2\ \mu\text{m}$ .



*Figura 70 – Registos fotográficos da voluta da bomba após aplicação de revestimento*

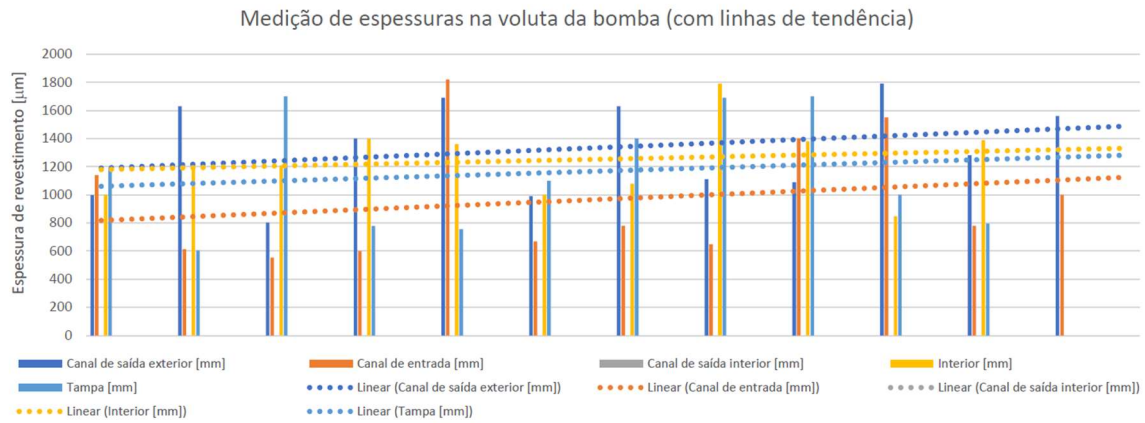


Gráfico - 19 – Avaliação de espessuras de revestimentos

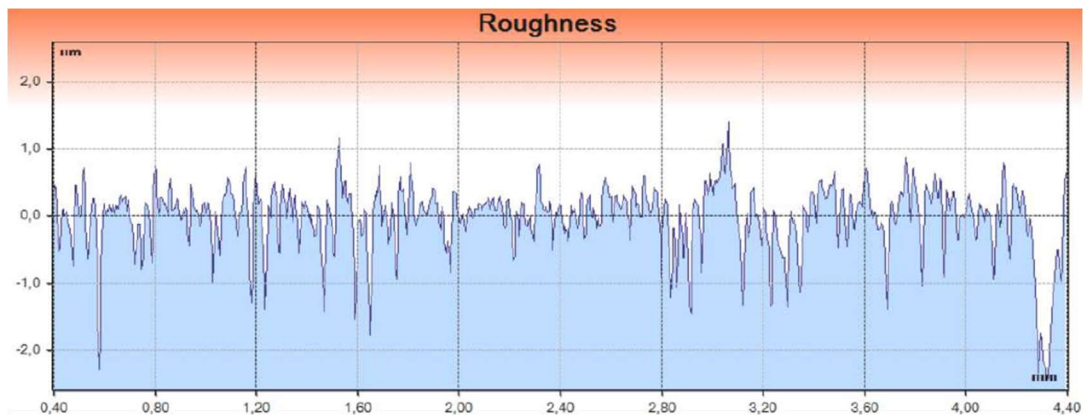


Gráfico - 20 – Avaliação de rugosidades de revestimentos

#### 4.5.6 Substituição do motor elétrico

A substituição do motor elétrico EFACEC BF5 é inevitável atendendo a que a sua beneficiação acabaria por representar um valor de pelo menos 33 % do custo de aquisição de um motor novo. Em termos de reparação, sem que fossem diagnosticadas avarias durante o processo de manutenção, seria necessário prever:

- Avaliação da resistência das bobinas do estator;
- Determinação da resistência de isolamento;
- Abertura do motor;
- Limpeza estatórica e rotórica;
- Revestimento exterior do estator;
- Avaliação de folgas;
- Secagem do estator;
- Substituição de rolamentos;
- Montagem;
- Avaliação da resistência das bobinas do estator;

- Determinação da resistência de isolamento.

O custo desta intervenção estima-se em cerca de 1100 €.

A proposta para o fornecimento de um motor novo, semelhante ao EFACEC BF5 mas de alta eficiência é de 3310 €. Com esta substituição é possível ganhar cerca de 3,5 pontos percentuais de rendimento no motor. Adicionalmente este motor vem equipado com uma sonda PTC para proteção térmica do motor, fator que também se considera como uma melhoria significativa.

Também do ponto de vista académico é visto como interessante, numa intervenção profunda de uma bomba com pelo menos 25 anos de serviço, poder-se contextualizar o que é possível obter com a recuperação da bomba e cumulativamente com a substituição do motor. Na Figura 71, Figura 72 e Figura 73 é possível observar resumidamente, o percurso do motor IE4 que foi adquirido, para substituição do motor do grupo 2 da EE de Madeiras.



*Figura 71 – Motor WEG na recepção na EPAL*



*Figura 72 – Motor WEG na adaptação do chassis*



*Figura 73 – Motor WEG instalado na EE Madeiras Grupo 2*

#### ***4.5.7 Avaliação do desempenho (após a intervenção)***

Os resultados obtidos são apresentados no Gráfico - 21 e no Gráfico - 22, complementados com toda a informação disponibilizada no ANEXO G. O rendimento da bomba superou ligeiramente os resultados de fábrica, sendo que o grupo, dotado de um motor de maior eficiência, supera os valores iniciais de fábrica. O indicador ERSAR AA16ab obtido é de 0,38 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m.

Neste caso é preciso salientar que aos valores antes da intervenção acresce um erro superior ao normal porque os valores de caudal foram calculados, uma vez que o medidor de caudal de suporte aos ensaios de 3-4-2023 tinha uma avaria. Contudo o caudal máximo antes de intervenção deveria ser aproximadamente 180 m<sup>3</sup>/h e no final da intervenção supera os 210 m<sup>3</sup>/h. Para além do aumento da capacidade de elevação o rendimento no caudal máximo aumento cerca de 8 pontos percentuais, sendo este facto muito relevante para os cálculos, a realizar no ponto 4.8 deste trabalho, de retorno do investimento das intervenções.

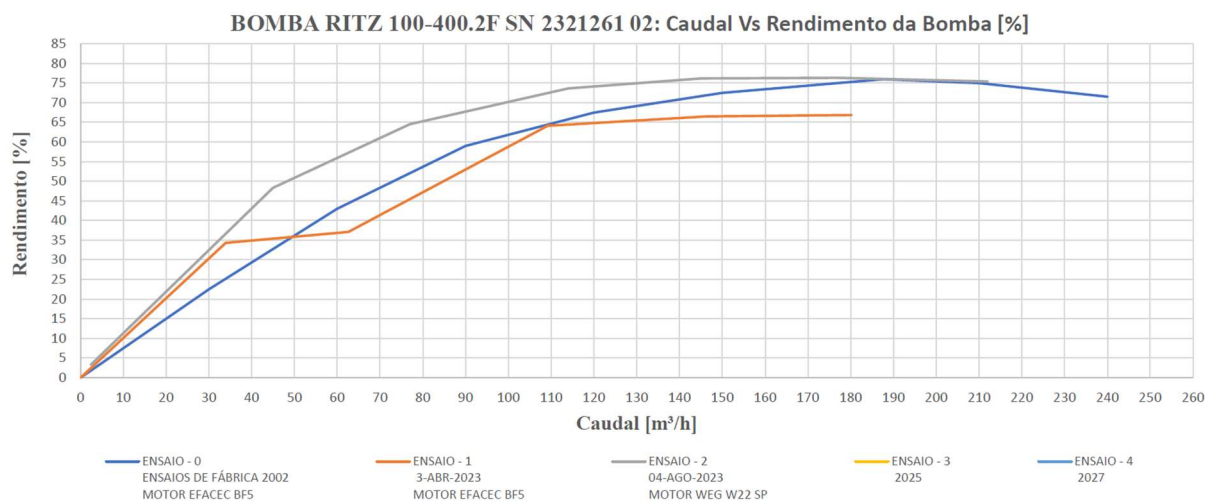


Gráfico - 21 – Histórico do desempenho da bomba (INSP\_03-2)

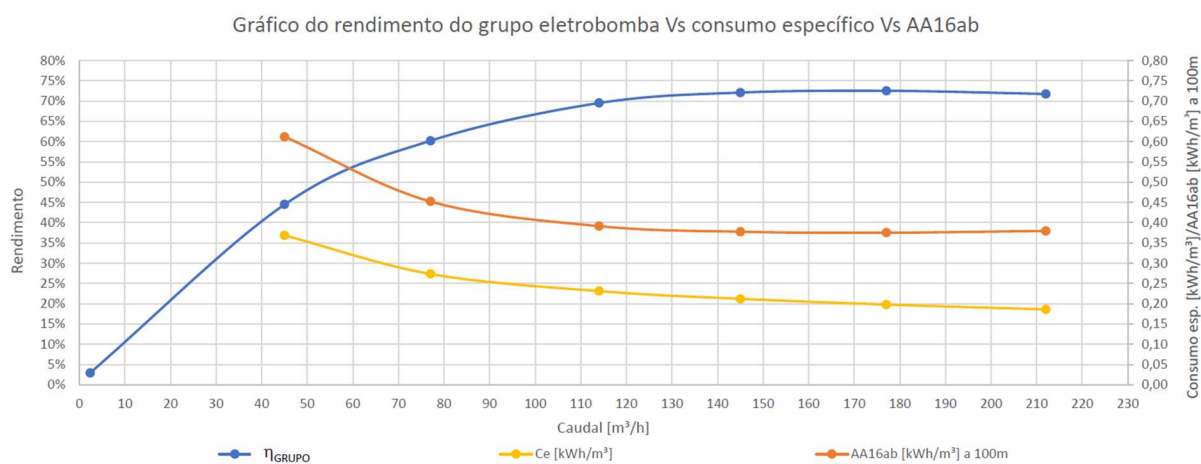


Gráfico - 22 – INSP\_03-1 - Desempenho do grupo eletrobomba, consumo específico e indicador ERSAR AA16ab

#### 4.5.8 Controlo de condição (após a intervenção): vibrometria e termografia

A avaliação da condição nesta intervenção assume ainda maior importância atendendo às adaptações que foi necessário executar no chassis para adaptação do novo motor. Conforme procedimento habitual foi executado o alinhamento do grupo eletrobomba - Figura 74 e Figura 75 – que é um processo que fica classificado no alinhador como estando em boas condições para funcionamento. No ensaio de vibrometria, na componente de avaliação da velocidade de vibração - Gráfico - 23 – confirma-se a adequação do trabalho de alinhamento.



Figura 74 – Processo de alinhamento (2-8-2023)



Figura 75 - Processo de alinhamento

### 1. Velocidade de vibração

		(ISO 10816-1) [mm/s]											
RMS	ROMR	0,425	mm/s	RAMR	0,629	mm/s	RAMA	0,659	mm/s	0-2,3	2,3-4,5	4,5-7,1	≥7,1
	ROBR	0,662	mm/s	RABR	1,123	mm/s	RABA	0,697	mm/s	0-3,5	3,5-7,1	7,1-11	≥11

**MOTOR WEG W22 SUPER PREMIUM SN 17279068 + BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02**  
*Velocidade (EE MADEIRAS GRUPO 2) - 4 AGO 2023*

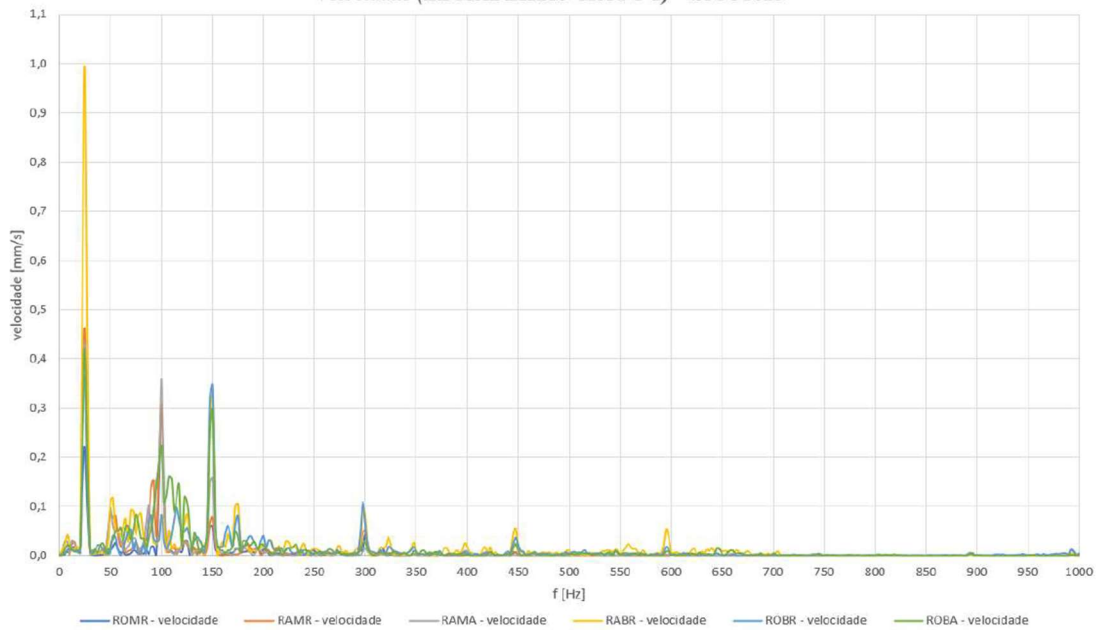


Gráfico - 23 – INSP\_02-1 - Espectro da velocidade de vibração nos seis pontos de medição

Na avaliação do envelope de aceleração - Gráfico - 24 - consta-se existir um valor de energia na componente axial nos rolamentos da bomba que importa melhor avaliar. No Gráfico - 25 isolou-se no espectro apenas a variável do RABA para facilitar a análise. Em todo o espectro de 2 kHz existem picos que não é possível isolar para determinar um potencial início de avaria. É uma situação que fica sinalizada para posterior acompanhamento da sua evolução.

## 2. Envelope de aceleração

PICO A PICO	ROMR	0,388	gE	RAMR	0,201	gE	RAMA	0,193	gE	(SKF - Envelope) [gE] 1500 rpm		
	ROBR	0,893	gE	RABR	0,909	gE	RABA	1,770	gE	<1	1-4	≥4

**MOTOR WEG W22 SUPER PREMIUM SN 17279068 + BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02**  
**- Envelope de aceleração gE (EE MADEIRAS GRUPO 2) - 4AGO2023**

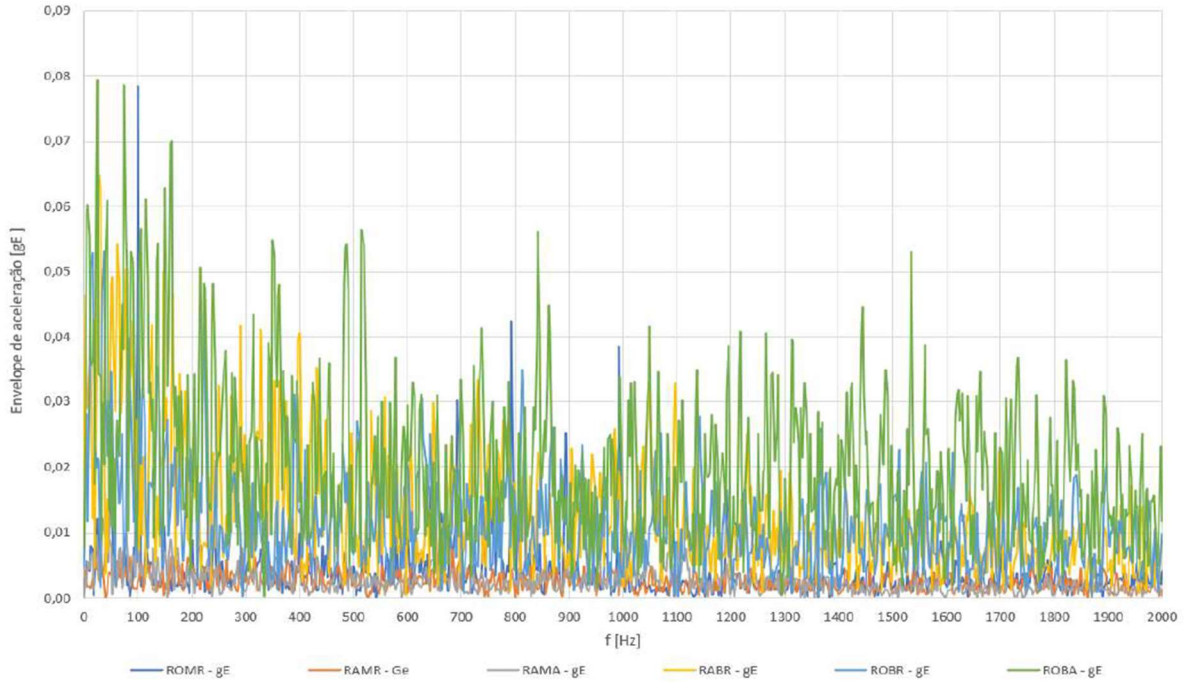


Gráfico - 24 – Espectro do envelope de aceleração nos seis pontos de medição (INSP\_02-1)

**MOTOR WEG W22 SUPER PREMIUM SN 17279068 + BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02**  
**- Envelope de aceleração gE (EE MADEIRAS GRUPO 2) - 4AGO2023**

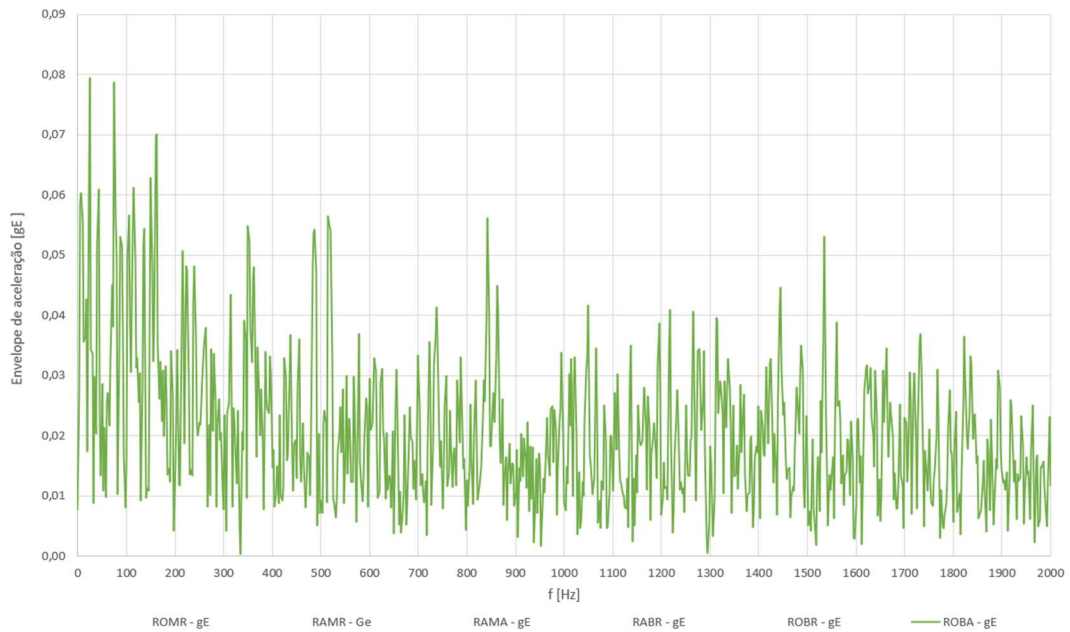


Gráfico - 25 – Espectro do envelope de aceleração – RABA (INSP\_02-1)

Na termografia da Figura 76 e da Figura 77 verificou-se a existência de um ponto quente, muito localizado, na tampa da zona do ataque do motor. Esta situação deverá ter origem na reduzida quantidade de lubrificante que é aplicada nos motores novos, obtendo-se uma espessura de película reduzida, requerendo, portanto, uma relubrificação após as primeiras horas de serviço. Procedeu-se à lubrificação com 10 g com MOBIL POLYREX EM.

Na caixa de rolamentos da bomba, as temperaturas inferiores a 50 °C, são normais para as condições de carga e de funcionamento existentes.

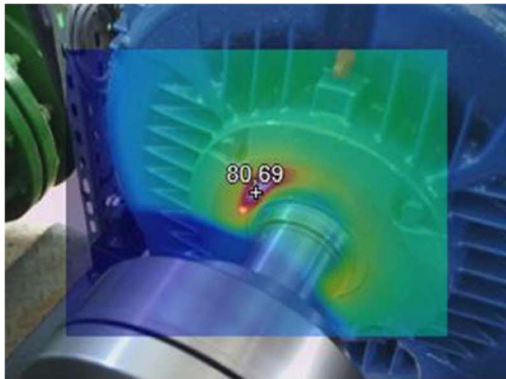


Figura 76 – Termografia ao motor da EE de Madeiras – Grupo 2 (INSP\_02-2)

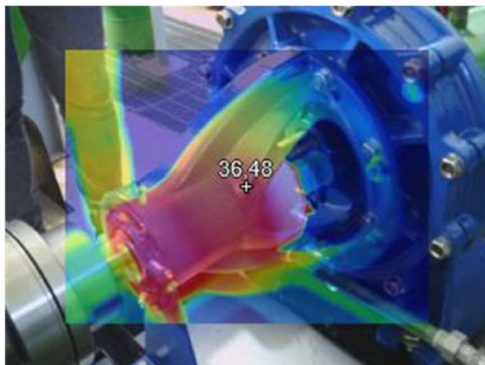


Figura 77 – Termografia à bomba da EE de Madeiras – Grupo 2 (INSP\_02-2)

Quatro dias após a lubrificação, as temperaturas uniformizaram em toda a área da tampa do motor e estabilizaram próximo dos 65 °C, que é uma temperatura adequada de funcionamento (< 90 °C).

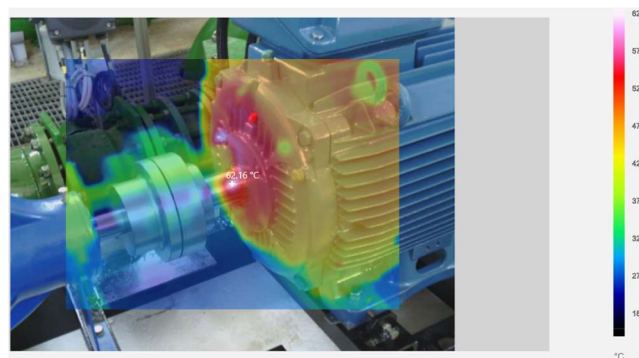


Figura 78 – Termografia de reavaliação de temperatura do rolamento

## 4.6 Intervenção 3: EE Curvaceiras – Grupo 4 Soudos (mai-jul2023)

Em 4.4 apresentou-se uma comparação entre os caudais elevados pelos diferentes grupos eletrobomba da EE Curvaceiras com destino ao reservatório de Soudos. O grupo 4 estava numa situação semelhante ao grupo 2 em termos de capacidade de elevação, tendo sido uma ligeira diferença que priorizou a intervenção no grupo 2. Com a intervenção no grupo 4 pretendia-se repor a melhor condição de elevação, que havia sido iniciada em 2020 com a substituição dos motores, e acabando agora com a finalização de melhoria nas bombas.

### 4.6.1 Avaliação do sistema elevatório

Em termos de sistema elevatório a abordagem é semelhante à apresentada em 4.4.1, mudando apenas o número de série do motor e da bomba.

### 4.6.2 Avaliação do desempenho (antes da intervenção de manutenção)

Sabendo-se que esta bomba não teve, durante o seu tempo de vida, cuidados de manutenção dignos de registo, é extremamente positivo uma bomba conseguir obter um desempenho apenas 3 a 4 pontos percentuais abaixo do que se havia registado em fábrica, conforme é apresentado em Gráfico - 27 e no Gráfico - 26. Estes gráficos fazem parte dos registos INPS\_03-1 e INSP\_03-2 que podem ser consultados globalmente no ANEXO H.

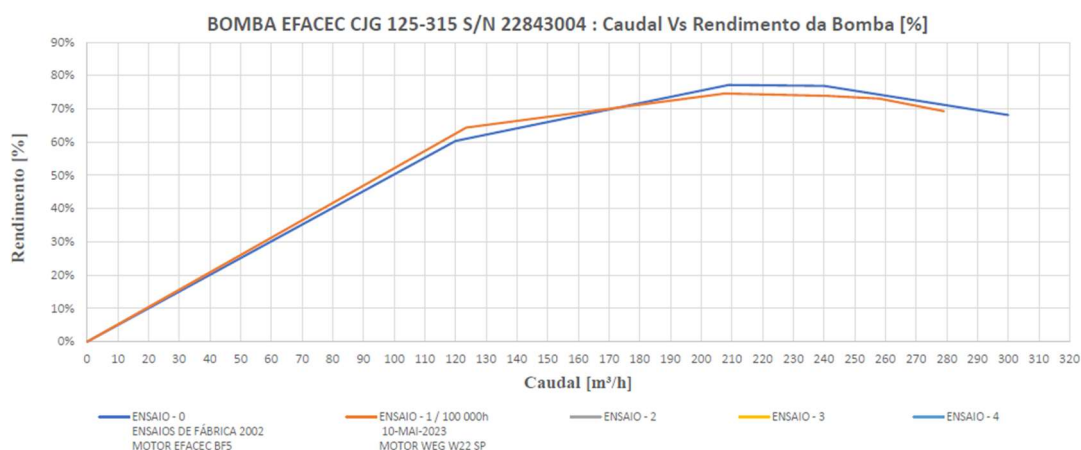


Gráfico do rendimento do motor, da bomba e do grupo eletrobomba

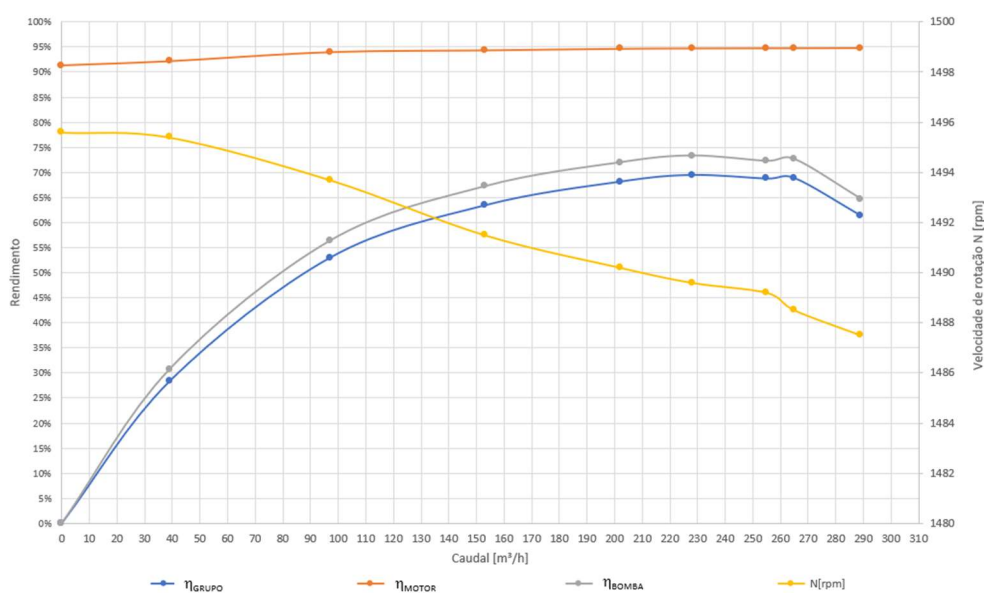


Gráfico - 27 – INSP\_03-1 Resultado do ensaio de desempenho EE Curv. – Soudos: Gr. 4

Realça-se no Gráfico - 27 o facto rendimento do motor corresponder a um WEG Super Premium, adquirido em 2019 e instalado em 2020, realidade que permite obter um rendimento do grupo da ordem dos 70 %, ainda sem qualquer intervenção na bomba.

#### 4.6.3 Controlo de condição (antes da intervenção): vibrometria e termografia

Em termos de controlo de condição, o grupo eletrobomba revelou um bom desempenho quer ao nível de vibrações, quer ao nível termográfico (Figura 79), sendo apenas digno de registo um escurecimento do óleo lubrificante.

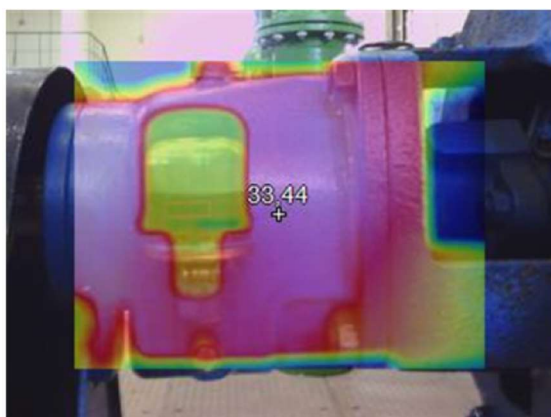


Figura 79 – INSP\_02-2 EE Curv. – Soudos: Gr. 4 – Bomba - avaliação termográfica

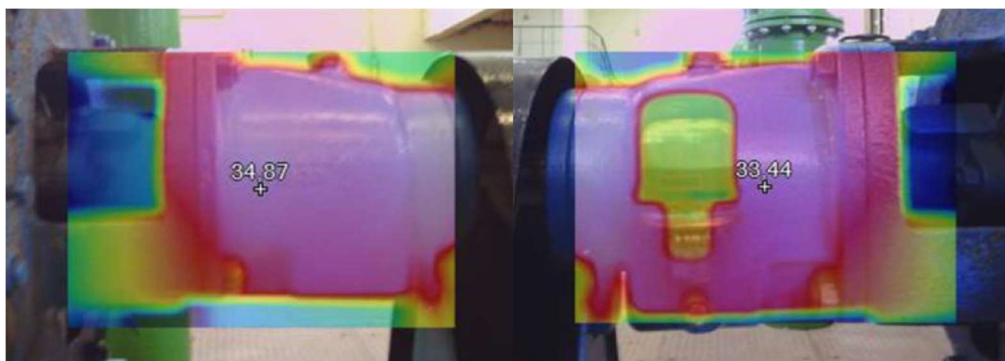


Figura 80 – Termografia à caixa de rolamentos da bomba do grupo 4 da EE Curvaceiras

Toda a informação desta avaliação está no ANEXO H.

#### **4.6.4 Avaliação da abertura da bomba**

#### **4.6.5 Avaliação de revestimentos**

Esta bomba foi revestida quer na voluta, quer no impulsor. Com efeito o impulsor apresentava algumas perdas de material, pouco significativas, mas perante a possibilidade de corrigir esse problema diagnosticado e simultaneamente avaliar o impacto do revestimento em impulsores, optou-se pela aplicação do Belzona 1341, à semelhança do que se pretendia aplicar na voluta. Apresenta-se na Figura 81 e na Figura 82 o resultado do trabalho de aplicação de revestimentos na bomba, evidenciando um preenchimento total das superfícies.



Figura 81 – INSP\_05-1 com imagens do revestimento da voluta da bomba



Figura 82 – INSP\_05-1 com imagens do revestimento do impulsor

Na Gráfico - 28 é possível avaliar as diferentes medidas de espessuras do impulsor, obtidas por amostragem. Sendo que na Figura 83 apresenta-se informação da rugosidade que foi medida nos revestimentos do impulsor. O relatório de avaliação de revestimento INSP\_05-1 pode ser consultado no ANEXO H.

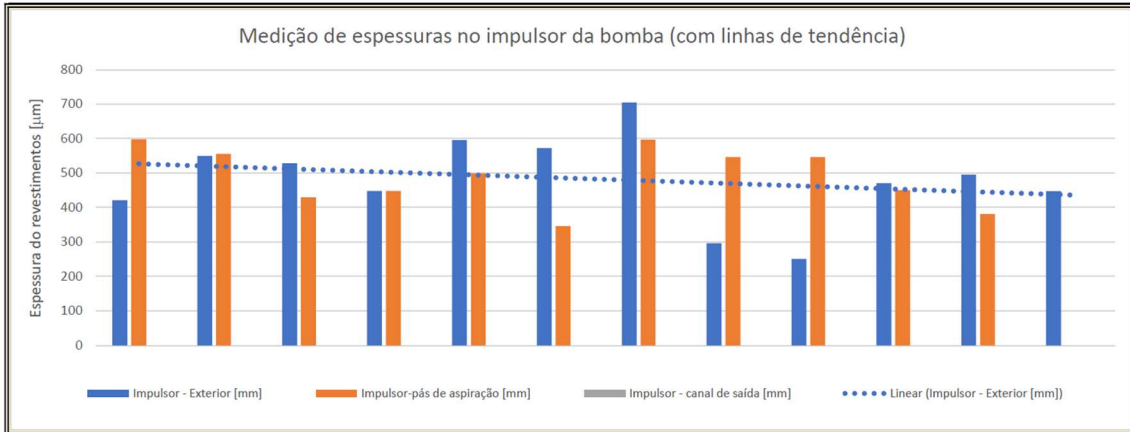


Gráfico - 28 – INSP\_05-1 com gráfico das medidas de espessuras de revestimento no impulsor

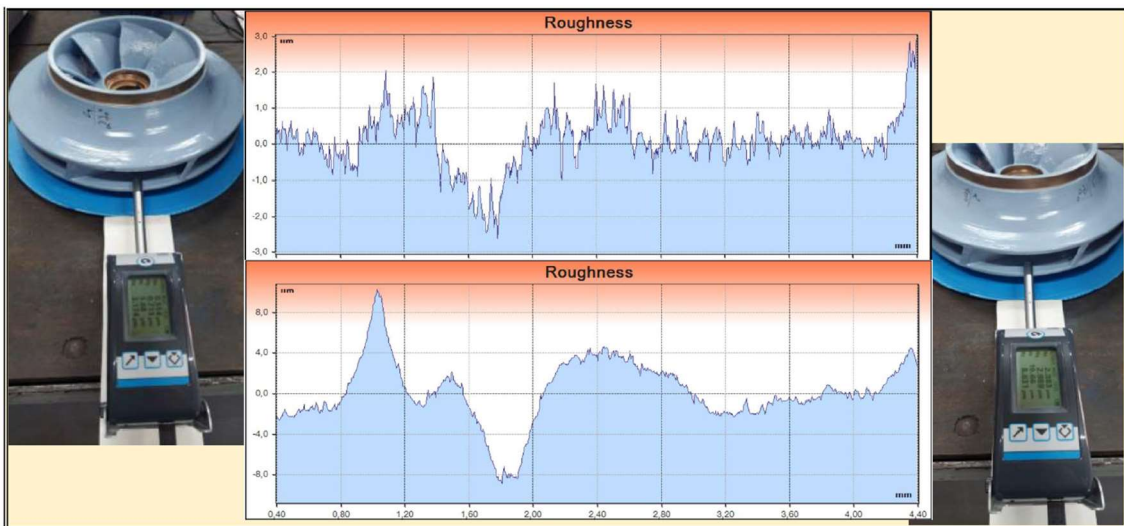


Figura 83 – INSP\_05-1 com gráfico das medidas de rugosidades do revestimento no impulsor

#### 4.6.6 Avaliação do desempenho (após a intervenção)

A intervenção realizada neste grupo eletrobomba permitiu obter um rendimento máximo de 77 % o que equivale a um valor do indicador ERSAR AA16<sub>ab</sub> de 0,35 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m, sendo este um valor muito bom para este segmento de potência e idade, conforme se apresenta na Gráfico - 29.

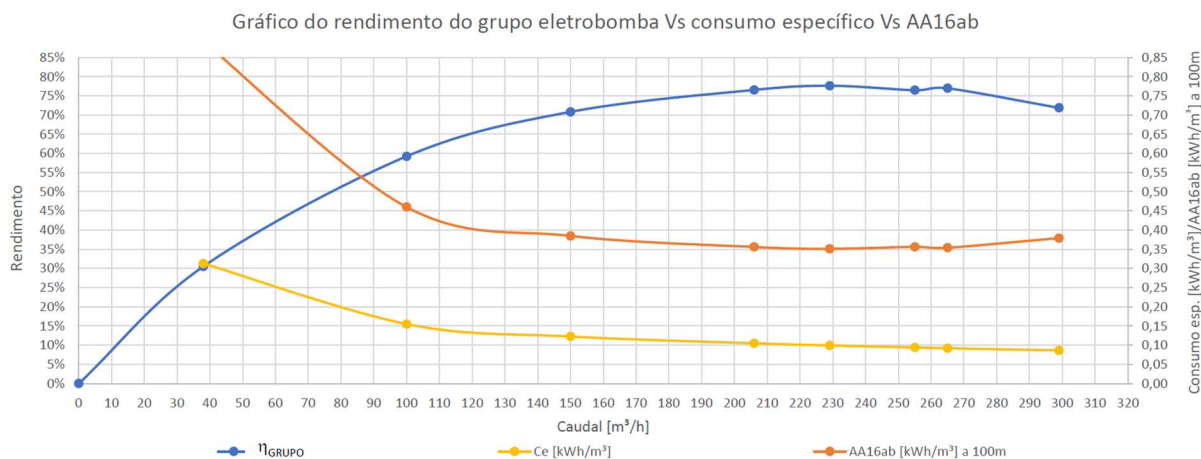


Gráfico - 29 – INSP\_03-1 com gráfico rendimento do grupo, consumo específico e indicador AA16ab

Na Gráfico - 30 apresenta-se o resultado do ensaio de eficiência da bomba, com o devido enquadramento histórico de outros ensaios, em que é possível verificar que a 21-JUL-2023 o resultado obtido supera significativamente o que foi obtido em fábrica em 2002.

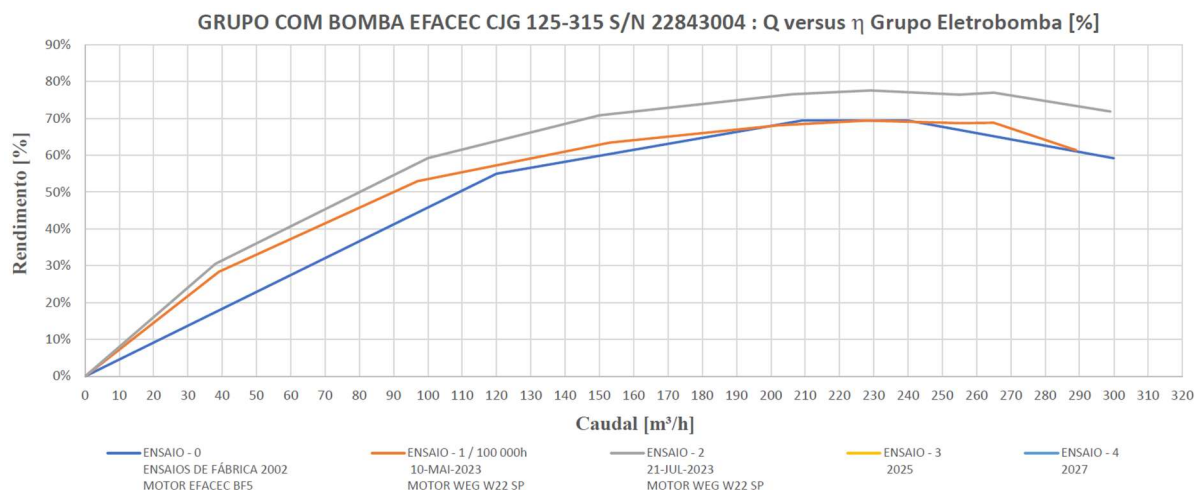


Gráfico - 30 – INSP\_03-2 com gráfico de comparativo histórico de rendimento do grupo

#### 4.6.7 *Controlo de condição (após a intervenção): vibrometria e termografia*

Ao nível do controlo de vibrações em velocidade (Gráfico - 31), este grupo eletrobomba revelou um comportamento ótimo, reflexo das boas práticas ao nível da equilibragem do conjunto rotórico e do alinhamento com o instrumento Pruftechnikue OPTALIGN de tecnologia laser.

No Gráfico - 32 constata-se que existem indícios de problemas em rolamentos, contudo estes motores da WEG de 30 kW 3000 rpm, apresentaram desde a sua colocação em serviço na EE Curvaceiras, uma sintomatologia análoga ao que agora se registou. No espectro não existe uma frequência específica com maior amplitude. Os motores já estiveram todos num reparador oficial da WEG e os potenciais problemas evocados (desalinhamentos), não parecem ter reflexo

com a realidade. Na instalação constata-se a existência de um ruído muito característicos do trabalhar destes motores, com especial foco na zona do rolamento do ataque. A opção de regular acompanhamento mantém-se, sem que se estabeleçam limitações para a normal exploração dos grupos eletrobomba.

### 1. Velocidade de vibração

(ISO 10816-1) [mm/s]

RMS	ROMR	1,100	mm/s	RAMR	1,215	mm/s	RAMA	0,816	mm/s	0-2,3	2,3-4,5	4,5-7,1	≥7,1
	ROBR	0,655	mm/s	RABR	0,771	mm/s	RABA	1,117	mm/s	0-3,5	3,5-7,1	7,1-11	≥11

**MOTOR WEG W22 SPIE4 SN 1051123807 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843004**  
*Velocidade (EE CURVACEIRAS GRUPO 4) - 19SET2023*

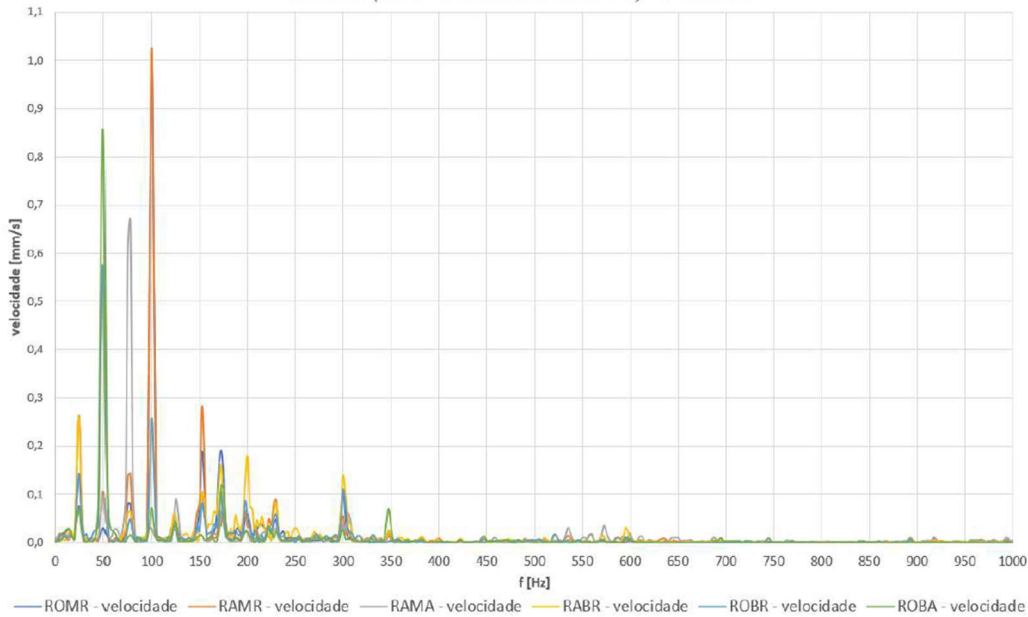


Gráfico - 31 – Velocidade de vibração – espectro (EE Curvaceiras – Soudos: Grupo 4)

### 2. Envelope de aceleração

PICO A PICO	ROMR	0,631	gE	RAMR	6,117	gE	RAMA	2,838	gE	(SKF-Envelope de aceleração) [gE] 3000 rpm			
	ROBR	0,806	gE	RABR	0,567	gE	RABA	3,066	gE	<4	4-10	≥10	

**MOTOR WEG W22 SPIE4 SN 1051123807 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843004**  
*Envelope de aceleração gE (EE CURVACEIRAS GRUPO 4) - 19SET2023*

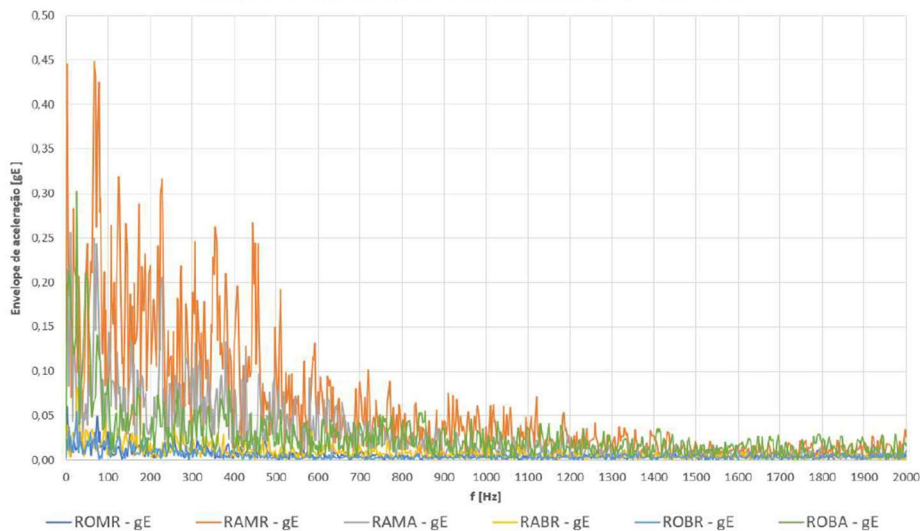


Gráfico - 32 – Aceleração – espectro (EE Curvaceiras – Soudos: Grupo 4)

## 4.7 Comparativo do trabalho realizado em cada intervenção

Os registos dos trabalhos realizados são imprescindíveis para interpretar os resultados atuais e os futuros. As rugosidades dos revestimentos devem ser correlacionadas com os resultados do desempenho das bombas, enquanto as espessuras de revestimento, devem ser correlacionadas com a redução de desempenho que se venham a verificar nos ensaios de acompanhamento, idealmente a realizar de dois em dois anos. Num futuro próximo a instalação de analisadores de energia por grupo eletrobomba, poderão permitir o acompanhamento em contínuo do desempenho destes grupos, atendendo a que as restantes grandezas, caudal, pressão de compressão e nível do reservatório de aspiração, já estão disponíveis em contínuo no SCADA. Em matéria de espessura de revestimentos devem-se distinguir as situações no interior das volutas das exteriores.

No ANEXO I são apresentados o relatório INSP\_03-3 Comparativo de desempenho de grupos eletrobomba e o relatório INSP\_05-2 Avaliação comparativa de revestimentos de bombas.

Na Tabela 9 é possível verificar a melhoria no desempenho de bombas ( $\eta$ ) e de grupos eletrobomba ( $\text{kWh/m}^3$  a 100 m) com as intervenções que foram realizadas. Estes resultados para além de refletirem desempenhos muito significativos em termos absolutos, revelam ainda recuperações de um nível razoável para um nível excelente. No grupo 4 da EE Curvaceiras foi possível, no ponto de caudal máximo, recuperar 11,2 pontos percentuais de rendimento na bomba. Também neste grupo, de apenas 30 kW de potência, para o caudal de 229  $\text{m}^3/\text{h}$  (corresponde ao ponto de funcionamento de três grupos em paralelo), obteve-se o valor de 0,351  $\text{kWh/m}^3$  a 100 m. O resultado obtido neste indicador traduz um desempenho muito relevante.

Tabela 9 – Resumo dos ganhos obtidos nas intervenções

ESTAÇÃO ELEVATÓRIA GRUPO	desempenho antes do revestimento			desempenho após o revestimento			Melhoria obtida		
	Q [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	$\eta$ [%] (bomba)	AA16 <sub>ab</sub> [ $\text{kWh/m}^3$ ] a 100m	Q [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	$\eta$ [%] (bomba)	AA16 <sub>ab</sub> [ $\text{kWh/m}^3$ ] a 100m	$\eta$ [%] (bomba)	[ $\text{kWh/m}^3$ ] a 100m	Revestimento
<i>EE Madeiras</i> <i>Grupo 2</i>	180	66,9%	0,445	177	76,4%	0,376	9,5%	0,069	Voluta (BS Coatings)
				212	75,4%	0,380			
<i>EE Curvaceiras</i> <i>Grupo 2</i>	208	74,6%	0,386	198	79,9%	0,362	5,3%	0,024	Voluta (Loctite)
	241	73,9%	0,389	227	80,8%	0,356	6,9%	0,033	
	258	73,0%	0,394	255	80,1%	0,358	7,0%	0,036	
	279	69,2%	0,415	284	79,2%	0,363	9,9%	0,052	
				312	74,8%	0,384			
<i>EE Curvaceiras</i> <i>Grupo 4</i>	202	72,0%	0,400	206	81,0%	0,356	9,0%	0,044	Voluta + Impulsor (Belzona)
	228	73,3%	0,392	229	82,0%	0,351	8,7%	0,041	
	255	72,3%	0,396	255	80,7%	0,356	8,5%	0,040	
	265	72,6%	0,396	265	81,3%	0,354	8,7%	0,042	
	289	64,7%	0,444	299	75,8%	0,379	11,2%	0,065	

Sabendo que as bombas dos grupos 2 e 4 da EE Curvaceiras são idênticas, partindo para este trabalho sensivelmente do mesmo patamar de rendimento, constata-se que a recuperação de

desempenho foi mais notória na bomba do grupo 4. Verificando-se que apenas esta bomba teve o seu impulsor revestido, infere-se que este facto, permite obter níveis de desempenho superiores. O retorno deste investimento obriga a que seja feito um acompanhamento que permita medir recursivamente, o tempo em que os revestimentos de volutas e impulsores perdura, mantendo as suas características de reduzido atrito, perspetivando-se que nos impulsores possa ser menor, face à perturbação hidráulica que existe normalmente no seu interior.

No que diz respeito ao trabalho realizado na bomba do grupo 2 da EE de Madeiras, verifica-se globalmente que é o que apresenta melhor nível de qualidade. Ao nível do desempenho deverá ter subido cerca de 10 pontos percentuais, os revestimentos aplicados têm níveis de acabamento muito bons, corroborados pelas reduzidas rugosidade medidas e pelas elevadas espessuras, factos que permitem inferir que os bons indicadores deverão perdurar no tempo. Consubstanciando o referido está o Gráfico - 33 que evidencia o excelente acabamento dos produtos aplicados nesta bomba.

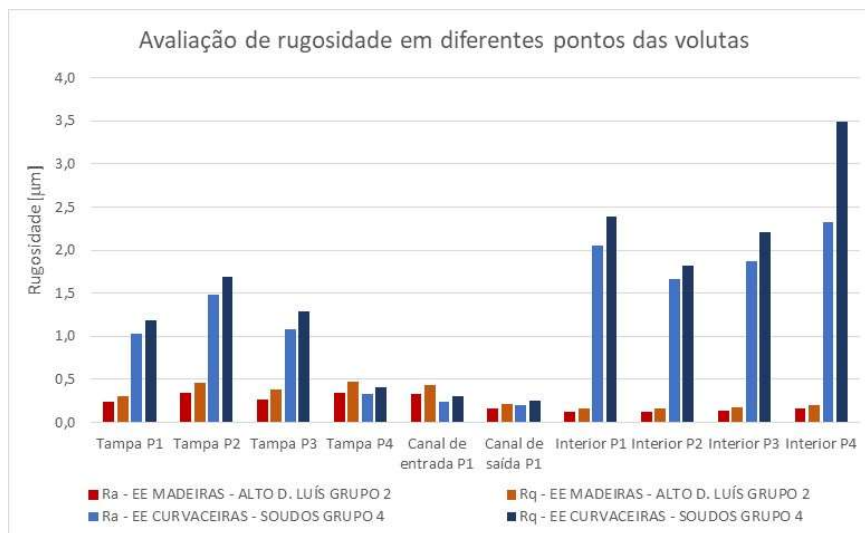


Gráfico - 33 – Avaliação de rugosidades em diferentes pontos das volutas

No Gráfico - 34 observa-se com preocupação a diminuta espessura que foi aplicada no exterior das volutas das bombas da EE Curvaceiras, situação que contrapõe a lógica de fiabilidade global que se pretende dar a este tipo de intervenção. Sem qualquer dúvida que este tipo de controlo de qualidade, pode evitar que os ativos possam entrar novamente em exploração sem assegurar todos os requisitos que estejam definidos.

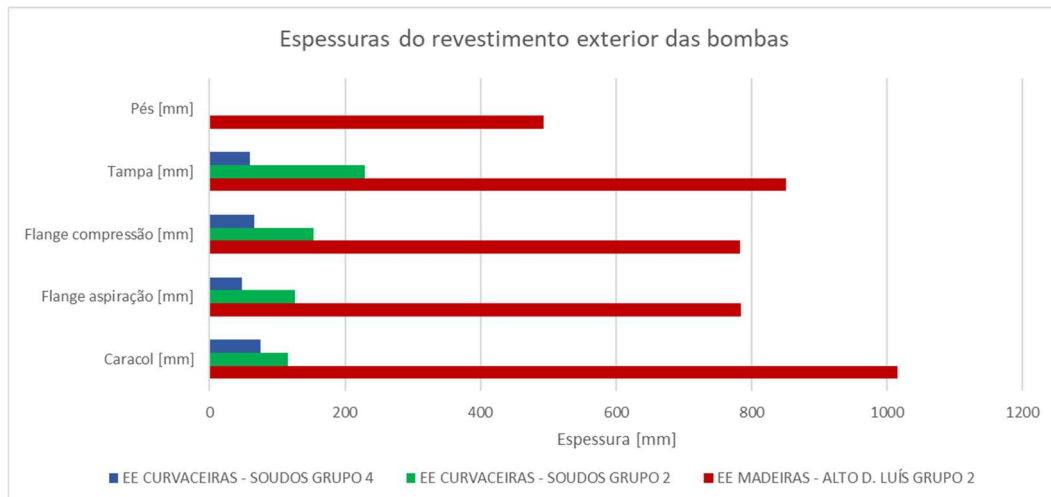


Gráfico - 34 – Avaliação de espessuras de revestimento em diferentes pontos das volutas

#### 4.8 Avaliação económica das intervenções

As intervenções nos três grupos eletrobomba eram relativamente prioritárias, atendendo essencialmente ao número de horas de funcionamento, que aconselharia a substituição de rolamentos e empanques, acompanhadas da aplicação de revestimentos exteriores para proteção dos materiais e de revestimentos interiores com dupla função: proteção e melhoria de desempenho.

A avaliação económica é realizada com base no custo total das intervenções, tendo como proveitos/receitas anuais o valor económico proporcionado pela diminuição de consumo de energia elétrica. Os cálculos são feitos assumindo a manutenção do rendimento das bombas e do motor ao longo do período de avaliação do projeto.

As situações em análise são:

- EE Curvaceiras – Soudos: Grupo 2 BOMBA
  - O valor de caudal considerado foi para dois grupos em paralelo uma vez que é a situação que ocorre na maior parte do tempo
- EE Madeiras – Alto D. Luís: Grupo 2 BOMBA
  - Assumiu-se um valor de 1100 € associado à implementação de melhorias na instalação que devem ser deduzidas ao valor total da aquisição
- EE Madeiras – Alto D. Luís: Grupo 2 MOTOR
  - Ao valor do investimento de aquisição do novo motor WEG é subtraído o valor da reparação do motor EFACEC
- EE Curvaceiras – Soudos: Grupo 4 BOMBA

- O valor de caudal considerado foi para dois grupos em paralelo uma vez que é a situação que ocorre na maior parte do tempo

Em todas as situações considerou-se que não existem perdas de receitas pela indisponibilidade dos equipamentos (para a realização das intervenções de manutenção), consequência natural de existirem equipamentos redundantes, fiáveis, capazes de assegurarem integralmente a função da estação elevatória. O custo de oportunidade também não foi considerado, contudo deve-se refletir cada vez mais sobre a disponibilidade de mão-de-obra especializada, que permita desenvolver este tipo de intervenção de modo adequado, bem como de prestadores de serviço que consigam fornecer, em tempo útil, os materiais necessários e os serviços com a qualidade desejável.

O período de avaliação é longo, 15 anos, contudo foi perceptível que estas mesmas bombas sem revestimento tiveram um decaimento de 10 pontos percentuais em cerca de 25/30 anos, sendo admissível que estes materiais com o revestimento aplicado, possam ter uma longevidade de 15 anos, com o mesmo tipo de utilização, desde que o fluido que passa nas bombas mantenha as características.

#### 4.8.1 Custos e proveitos das intervenções

Avalia-se em que condições os custos das intervenções de manutenção preventiva periódica, podem ser inteiramente suportados pela diminuição de custos proveniente do decréscimo de consumo de energia elétrica, consequência natural dos revestimentos implementados nas bombas. Na Tabela 10 apresentam-se os valores resultantes dos ensaios de desempenho antes das intervenções de manutenção, calculando-se os valores anuais que se obteriam em termos de tempo de funcionamento e energia consumida. O volume anual é o valor que não é passível de alteração, porque é o valor necessário para disponibilizar à procura.

Tabela 10 – Custos das intervenções e resultados de desempenho antes das intervenções

Instalação	Equipamento	ANTES DE INTERVENÇÃO					INTERVENÇÃO
		P [kW]	Q [m³/h]	Volume Anual [m³]	Tempo Anual [h]	Energia Anual [kWh]	Custos Totais [€]
EE CURVACEIRAS - SOUDOS: Grupo 2	BOMBA (EFACEC)	24,8	241,3	684 375	2 836,2	70 338	3 070,24 €
EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS: Grupo 2	BOMBA (RITZ)	34,7	180,2	263 092	1 460,0	50 662	5 857,09 €
EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS: Grupo 2	MOTOR (EFACEC)	37,9	180,2	263 092	1 460,0	55 334	3 310,00 €
EE CURVACEIRAS - SOUDOS: Grupo 4	BOMBA (EFACEC)	25,7	255	684 375	2 683,8	68 974	4 309,70 €

Ao nível da avaliação dos “projetos” foram consideradas as seguintes taxas de atualização e tarifas de energia elétrica (valores avaliados em setembro de 2023 no sítio da ERSE para o mercado vinculado para o período de vazio):

taxa de atualização - i	3%	custo médio de energia elétrica [€/kWh] (BT)	0,17
		custo médio de energia elétrica [€/kWh] (MT)	0,13

Nos proveitos decorrentes das intervenções nas bombas, conforme Tabela 11, calculam-se diretamente as diferenças entre o que se registou ao nível de desempenho antes e após as intervenções. Para a situação do motor elétrico a comparação é feita com base na situação de bomba intervencionada, comparando aquilo que seriam os consumos do motor EFACEC, com o que se espera que sejam os consumos do motor WEG recentemente adquirido.

Tabela 11 – Resultados das intervenções (assumindo o mesmo volume elevado)

Instalação	Equipamento	APÓS DE INTERVENÇÃO				Recuperação Anual			
		P [kW]	Q [m³/h]	Volume Anual [m³]	Tempo Anual [h]	Energia Anual [kWh]	[kWh]	[%]	[€]
EE CURVACEIRAS - SUDOS: Grupo 2	BOMBA (EFACEC)	25,3	255	684 375	2 683,8	67 901	2 437	3,5%	414 €
EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS: Grupo 2	BOMBA (RITZ)	37,58	212	263 092	1 241,0	46 637	4 025	7,9%	523 €
EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS: Grupo 2	MOTOR (WEG)	39,5	212	263 092	1 241,0	49 020	1 855	3,4%	241 €
EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS: Grupo 2	MOTOR (EFACEC)	40,99	212	263 092	1 241,0	50 875			
EE CURVACEIRAS - SUDOS: Grupo 4	BOMBA (EFACEC)	24	255	684 375	2 683,8	64 412	4 562	6,6%	776 €

#### 4.8.2 Período de retorno do investimento

Neste exercício pretende-se avaliar, com base na (Equação 27), se todos os custos inerentes ao aumento de fiabilidade e também de melhoria do desempenho dos equipamentos, poderiam ser diretamente suportados pelo benefício da diminuição da fatura de energia elétrica (Tabela 12). Neste enquadramento os grupos da Estação Elevatória alimentada em Baixa Tensão têm algum ascendente uma vez que a tarifa de energia elétrica apresenta um valor superior neste nível de tensão.

$$\sum_{t=1}^n R_t \cdot (1 + i)^{-t} = \sum_{t=0}^{n-1} D_t \cdot (1 + i)^{-t} \quad (\text{Equação 27})$$

Em que  $R_t$  e  $D_t$  são respetivamente as receitas e as despesas do ano  $t$ .  $t$  é o período (número de anos) em que está a ser feita a avaliação.  $i$  é a taxa a aplicar no âmbito do projeto.

Os períodos de retorno iguais ou inferiores a 15 anos são uma evidência da adequação das medidas. No caso do motor elétrico, espera-se que o seu ciclo de vida não seja inferior a 40/50 anos, mantendo praticamente inalterada a sua eficiência ao longo do tempo. Para as bombas apenas o retorno da bomba da EE de Madeiras é superior a 10 anos, sabendo-se que neste caso houve algumas melhorias implementada para além dos revestimentos e materiais de desgaste.

Tabela 12 – Avaliação dos períodos de retorno

Descritivo	0	1	2	3	4	5	6	7
EE CURVACEIRAS - SOUDOS: Grupo 2 - BOMBA	- 3 070,24 €	402,23 €	390,51 €	379,14 €	368,09 €	357,37 €	346,96 €	336,86 €
Valores Acumulados		402,23 €	792,74 €	1 171,87 €	1 539,97 €	1 897,34 €	2 244,31 €	2 581,16 €
		- 2 668,01 €	- 2 277,50 €	- 1 898,37 €	- 1 530,27 €	- 1 172,90 €	- 825,93 €	- 489,08 €

	8	9	10	11	12	13	14	15
	327,05 €	317,52 €	308,27 €	299,29 €	290,58 €	282,11 €	273,90 €	265,92 €
	2 908,21 €	3 225,73 €	3 534,00 €	3 833,30 €	4 123,88 €	4 405,99 €	4 679,89 €	4 945,80 €
	- 162,03 €	- 155,49 €	- 463,76 €	- 763,06 €	- 1 053,64 €	- 1 335,75 €	- 1 609,65 €	- 1 875,56 €

Descritivo	0	1	2	3	4	5	6	7
EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS: Grupo 2 - BOMBA	- 5 857,09 €	523,28 €	493,24 €	478,87 €	464,93 €	451,38 €	438,24 €	425,47 €
Valores Acumulados	1 000,00 €	523,28 €	1 016,52 €	1 495,39 €	1 960,32 €	2 411,70 €	2 849,94 €	3 275,41 €
		- 4 333,81 €	- 3 840,57 €	- 3 361,70 €	- 2 896,77 €	- 2 445,39 €	- 2 007,15 €	- 1 581,68 €

Assume-se que as melhorias implementada no decurso da intervenção devem ser valorizadas em €1000

	8	9	10	11	12	13	14	15
	413,08 €	401,05 €	389,37 €	378,03 €	367,02 €	356,33 €	345,95 €	335,87 €
	3 688,50 €	4 089,55 €	4 478,91 €	4 856,94 €	5 223,96 €	5 580,29 €	5 926,23 €	6 262,11 €
	- 1 168,59 €	- 767,54 €	- 378,18 €	- 0,15 €	- 366,87 €	- 723,20 €	- 1 069,14 €	- 1 405,02 €

Descritivo	0	1	2	3	4	5	6	7
EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS: Grupo 2 - MOTOR	- 3 310,00 €	241,17 €	227,32 €	220,70 €	214,27 €	208,03 €	201,97 €	196,09 €
Valores Acumulados	1 100,00 €	241,17 €	468,49 €	689,19 €	903,47 €	1 111,50 €	1 313,48 €	1 509,57 €
		- 1 968,83 €	- 1 741,51 €	- 1 520,81 €	- 1 306,53 €	- 1 098,50 €	- 896,52 €	- 700,43 €

Assume-se que ao valor do investimento no novo motor WEG deve ser subtraído o valor de manutenção do motor EFACEC

	8	9	10	11	12	13	14	15
	190,38 €	184,84 €	179,45 €	174,22 €	169,15 €	164,22 €	159,44 €	154,80 €
	1 699,95 €	1 884,78 €	2 064,23 €	2 238,46 €	2 407,61 €	2 571,83 €	2 731,27 €	2 886,07 €
	- 510,05 €	- 325,22 €	- 145,77 €	- 28,46 €	197,61 €	361,83 €	521,27 €	676,07 €

Descritivo	0	1	2	3	4	5	6	7
EE CURVACEIRAS - SOUDOS: Grupo 4 - BOMBA	- 4 309,70 €	775,62 €	731,10 €	709,81 €	689,13 €	669,06 €	649,57 €	630,65 €
Valores Acumulados		775,62 €	1 506,73 €	2 216,53 €	2 905,67 €	3 574,73 €	4 224,30 €	4 854,95 €
		- 3 534,08 €	- 2 802,97 €	- 2 093,17 €	- 1 404,03 €	- 734,97 €	- 85,40 €	- 545,25 €

	8	9	10	11	12	13	14	15
	612,29 €	594,45 €	577,14 €	560,33 €	544,01 €	528,16 €	512,78 €	497,84 €
	5 467,24 €	6 061,69 €	6 638,83 €	7 199,16 €	7 743,17 €	8 271,33 €	8 784,11 €	9 281,95 €
	1 157,54 €	1 751,99 €	2 329,13 €	2 889,46 €	3 433,47 €	3 961,63 €	4 474,41 €	4 972,25 €

### 4.8.3 Valor atual líquido

A avaliação das intervenções com base no VAL, (Equação 28), tem um enquadramento mais racional uma vez que temos de atribuir um valor residual a cada um dos equipamentos no final do período em avaliação. Neste tipo de intervenção, um dos primeiros objetivos é diminuir a velocidade de degradação dos equipamentos, maximizando o seu ciclo de vida, o que se traduz num aumento do seu valor residual no final de cada período em análise.

$$VAL = \sum_{t=0}^{n-1} D_t \cdot (1+i)^{-t} + \sum_{t=1}^n R_t \cdot (1+i)^{-t} + V_r \cdot (1+i)^{-n} \quad (\text{Equação 28})$$

Conforme apresentado na Tabela 14 a intervenção na bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras – Soudos é muito proveitosa (VAL = 2196,50 €), sendo possível prever que para o período em avaliação, seja suportável os custos das tarefas associadas a lubrificações e substituição de rolamentos.

Tabela 13 – Avaliação do projeto de manutenção da bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos

<b>Projeto - EE CURVACEIRAS - SOUDOS</b> <b>Grupo 2 - BOMBA</b>	0	1	2	3	4	5
DESPESAS	-3 070,24 €					
RECEITAS		402,23 €	390,51 €	379,14 €	368,09 €	357,37 €
VALOR RESIDUAL						

	6	7	8	9	10
DESPESAS					
RECEITAS	346,96 €	336,86 €	327,05 €	317,52 €	308,27 €
VALOR RESIDUAL					

	11	12	13	14	15	Σ
DESPESAS						- 3 070,24 €
RECEITAS	299,29 €	290,58 €	282,11 €	273,90 €	265,92 €	4 945,80 €
VALOR RESIDUAL					320,93 €	320,93 €
					<b>VAL</b>	<b>2 196,50 €</b>

Para a bomba 2 da EE Madeiras a VAL, Tabela 14, é menor que no exemplo anterior (VAL = 1774,89 €), contudo o tempo anual de funcionamento desta bomba é cerca de metade das bombas da EE Curvaceiras, pelo que, o valor obtido também deverá suportar uma parte significativa das intervenções de manutenção de lubrificações e substituição de rolamentos.

Tabela 14 – Avaliação do projeto de manutenção da bomba do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís

<b>Projeto - EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS</b> <b>Grupo 2 - BOMBA</b>	0	1	2	3	4	5
DESPESAS	-5 857,09 €					
RECEITAS	1 000,00 €	508,04 €	493,24 €	478,87 €	464,93 €	451,38 €
VALOR RESIDUAL						

	6	7	8	9	10
DESPESAS					
RECEITAS	438,24 €	425,47 €	413,08 €	401,05 €	389,37 €
VALOR RESIDUAL					

	11	12	13	14	15	Σ
DESPESAS						- 5 857,09 €
RECEITAS	378,03 €	367,02 €	356,33 €	345,95 €	335,87 €	7 246,87 €
VALOR RESIDUAL					385,12 €	385,12 €
					<b>VAL</b>	<b>1 774,89 €</b>

No que diz respeito ao motor WEG adquirido no âmbito deste trabalho, é perceptível que o aumento de rendimento que tem face ao motor EFACEC associado ao custo que teria a sua reparação, permite obter um VAL a 15 anos muito aceitável. É muito importante salientar que o motor EFACEC, tendo já cerca de 30 anos, teria um rendimento de referência à sua data de fabrico e ainda reconhecer que este grupo eletrobomba tem um número de horas de funcionamento anual relativamente reduzido. Em resumo, considera-se que na indústria da água, atendendo ao aumento de rendimento que os motores elétricos tiveram, deverão existir

inúmeras situações em que a simples substituição de um motor elétrico deverá ser altamente recompensadora.

Tabela 15 – Avaliação do projeto de manutenção do motor do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís

<b>Projeto - EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS</b> <b>Grupo 2 - MOTOR</b>	0	1	2	3	4	5
DESPESAS	-3 310,00 €					
RECEITAS	1 100,00 €	234,14 €	227,32 €	220,70 €	214,27 €	208,03 €
VALOR RESIDUAL						

	6	7	8	9	10
DESPESAS					
RECEITAS	201,97 €	196,09 €	190,38 €	184,84 €	179,45 €
VALOR RESIDUAL					

	11	12	13	14	15	Σ
DESPESAS						- 3 310,00 €
RECEITAS	174,22 €	169,15 €	164,22 €	159,44 €	154,80 €	3 979,05 €
VALOR RESIDUAL					962,79 €	962,79 €
					<b>VAL</b>	<b>1 631,84 €</b>

Para a situação da bomba 4 da EE Curvaceiras – Soudos, à semelhança do que foi apresentado em 4.8.2, é notória a maior capacidade de rentabilização do trabalho ora realizado. Não é possível contextualizar com o facto de ter sido a única bomba em que, para além do revestimento da voluta, procedeu-se também ao revestimento do impulsor. Este facto poderá permitir no futuro melhorar significativamente este tipo de trabalho. É muito importante que se consiga assegurar a realização periódica de ensaios de avaliação de desempenho aos grupos da EE Curvaceiras – Soudos, para se poder determinar quer a eficiência das medidas, quer a sua duração temporal. Só assim será possível seleccionar a melhor estratégia de gestão da manutenção.

Tabela 16 – Avaliação do projeto de manutenção da bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos

<b>Projeto - EE CURVACEIRAS - SOUDOS</b> <b>Grupo 4 - BOMBA</b>	0	1	2	3	4	5
DESPESAS	-4 309,70 €					
RECEITAS		753,03 €	731,10 €	709,81 €	689,13 €	669,06 €
VALOR RESIDUAL						

	6	7	8	9	10
DESPESAS					
RECEITAS	649,57 €	630,65 €	612,29 €	594,45 €	577,14 €
VALOR RESIDUAL					

	11	12	13	14	15	Σ
DESPESAS						- 4 309,70 €
RECEITAS	560,33 €	544,01 €	528,16 €	512,78 €	497,84 €	9 259,36 €
VALOR RESIDUAL					320,93 €	320,93 €
					<b>VAL</b>	<b>5 271 €</b>

#### 4.8.4 TIR – Taxa interna de rentabilidade

Outro modo de se avaliar estes projetos é calcular o limiar de rentabilidade de cada um dos projetos. A TIR iguala as receitas e o valor residual ao investimento atualizado. É a taxa,  $i$ , que anula o VAL no final do projeto, conforme (Equação 29).

$$\sum_{t=0}^{n-1} D_t \cdot (1+i)^{-t} + \sum_{t=1}^n R_t \cdot (1+i)^{-t} + V_r \cdot (1+i)^{-n} = 0 \quad (\text{Equação 29})$$

Obtém-se assim para os projetos em avaliação na EE de Curvaceiras, taxas de rentabilidade superiores a 10%, conforme os resultados que se apresentam na Tabela 17 (Bomba do Grupo 2) e na Tabela 18 (Bomba do Grupo 4).

Para a situação dos projetos na EE de Madeiras os resultados diferem um pouco, enquanto o projeto de substituição do motor tem uma taxa de rentabilidade próxima dos 10 % (9,89 %), o projeto de intervenção de manutenção na bomba, é penalizado essencialmente pelo custo de mão-de-obra necessário para realizar toda a intervenção, contudo atinge um valor próximo de 5%, que é ainda assim um resultado muito bom, atendendo aos objetivos pretendidos.

Tabela 17 – Cálculo da TIR para o projeto da bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras - Soudos

EE CURVACEIRAS - SOUDOS Grupo 2 - BOMBA				
ANO	DESPESAS	RECEITAS	VALOR RESIDUAL	TOTAL
0	- 3 070,24 €			-3 070,24 €
1		414,29 €		414,29 €
2		414,29 €		414,29 €
3		414,29 €		414,29 €
4		414,29 €		414,29 €
5		414,29 €		414,29 €
6		414,29 €		414,29 €
7		414,29 €		414,29 €
8		414,29 €		414,29 €
9		414,29 €		414,29 €
10		414,29 €		414,29 €
11		414,29 €		414,29 €
12		414,29 €		414,29 €
13		414,29 €		414,29 €
14		414,29 €		414,29 €
15		414,29 €	500,00 €	914,29 €
			<b>TIR</b>	<b>11,08%</b>

Tabela 18 – Cálculo da TIR para o projeto da bomba do grupo 4 da EE Curvaceiras - Soudos

EE CURVACEIRAS - SOUDOS Grupo 4 - BOMBA				
ANO	DESPESAS	RECEITAS	VALOR RESIDUAL	TOTAL
0	-4 309,70 €			-4 309,70 €
1		775,62 €		775,62 €
2		775,62 €		775,62 €
3		775,62 €		775,62 €
4		775,62 €		775,62 €
5		775,62 €		775,62 €
6		775,62 €		775,62 €
7		775,62 €		775,62 €
8		775,62 €		775,62 €
9		775,62 €		775,62 €
10		775,62 €		775,62 €
11		775,62 €		775,62 €
12		775,62 €		775,62 €
13		775,62 €		775,62 €
14		775,62 €		775,62 €
15		775,62 €	500,00 €	1 275,63 €
			<b>TIR</b>	<b>16,33%</b>

Tabela 19 – Cálculo da TIR para o projeto da bomba do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís

<b>EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS</b>				
<b>Grupo 2 - BOMBA</b>				
<i>ANO</i>	<i>DESPESAS</i>	<i>RECEITAS</i>	<i>VALOR RESIDUAL</i>	<i>TOTAL</i>
0	- 5 857,09 €			-5 857,09 €
1		523,28 €		523,28 €
2		523,28 €		523,28 €
3		523,28 €		523,28 €
4		523,28 €		523,28 €
5		523,28 €		523,28 €
6		523,28 €		523,28 €
7		523,28 €		523,28 €
8		523,28 €		523,28 €
9		523,28 €		523,28 €
10		523,28 €		523,28 €
11		523,28 €		523,28 €
12		523,28 €		523,28 €
13		523,28 €		523,28 €
14		523,28 €		523,28 €
15		523,28 €	600,00 €	1 123,28 €
			<b>TIR</b>	<b>4,67%</b>

Tabela 20 – Cálculo da TIR para o projeto do motor do grupo 2 da EE Madeiras – Alto D. Luís

<b>EE MADEIRAS - ALTO DOM LUÍS</b>				
<b>Grupo 2 - MOTOR</b>				
<i>ANO</i>	<i>DESPESAS</i>	<i>RECEITAS</i>	<i>VALOR RESIDUAL</i>	<i>TOTAL</i>
0	- 2 210,00 €			- 2 210,00 €
1		241,17 €		241,17 €
2		241,17 €		241,17 €
3		241,17 €		241,17 €
4		241,17 €		241,17 €
5		241,17 €		241,17 €
6		241,17 €		241,17 €
7		241,17 €		241,17 €
8		241,17 €		241,17 €
9		241,17 €		241,17 €
10		241,17 €		241,17 €
11		241,17 €		241,17 €
12		241,17 €		241,17 €
13		241,17 €		241,17 €
14		241,17 €		241,17 €
15		241,17 €	1 500,00 €	1 741,17 €
			<b>TIR</b>	<b>9,89%</b>

## 5 Conclusões e trabalhos futuros

O acompanhamento destas três intervenções, avaliando e registrando as variáveis que pesam na fiabilidade e no desempenho de grupos eletrobomba, permite validar a hipótese de que as metas e metodologia de cálculo propostas pelo regulador estão desajustadas para os objetivos que se pretendem alcançar.

O indicador AA16<sub>ab</sub> deve ter um intervalo inferior a ]0,27 a 0,40] [kWh/m<sup>3</sup>] a 100 m para uma EG ter a classificação de “Bom” neste indicador. Por outro lado, a avaliação de desempenho energético avaliando anualmente o valor médio deste indicador para a globalidade da empresa, não parece ser a metodologia mais adequada, para se poder incentivar as empresas a fazerem melhor e a serem recompensadas pelo seu esforço.

A avaliação realizada no âmbito do presente trabalho aponta no sentido da avaliação de desempenho energético, dever ser mais complexa, calculada por instalação e por patamar altimétrico, baseando-se em critérios multifatoriais como sejam:

- a. Abordagem ao sistema
  - Cotas dos reservatórios de aspiração e de destino e intervalo de variações de níveis associados a cada um dos reservatórios;
  - Conduita: Comprimento, diâmetro e material;
  - Pontos de funcionamento dos grupos eletrobomba (Caudais e alturas de elevação);
  - Instrumentação residente nas instalações;
- b. Consumo específico de elevação (deve-se pesar a distância ao ponto ótimo e, simultaneamente, o histórico de consumo);
- c. AA16<sub>ab</sub> com maior número de escalões de classificação
  - Insuficiente;
  - Razoável;
  - Bom;
  - Muito Bom;
  - Excelente.

A aplicação de sanções às EG que perdurem no tempo a sua incapacidade de gerirem adequadamente as suas infraestruturas é justo e essencial, uma vez que cada vez mais o cidadão comum é penalizado pelo estado perante um incumprimento. Neste tipo de situação as concessões das infraestruturas e respetivos serviços não devem ser, à partida, um entrave à

mudança, deve sim imperar a preocupação de elaborarem contratos de concessão que possam servir ambas as partes adequadamente.

- Qualquer que seja a tipologia de gestão de manutenção, sendo que no setor da água, sendo um bem cada vez mais escasso, mas essencial à presença humana no planeta Terra, provavelmente dever-se-ia aplicar um modelo baseado na gestão do risco, parece ser boa política quer por questão de desempenho, mas também potenciação da maximização dos ciclos de vida destes equipamentos, encarar-se o revestimento interior das bombas, como fator decisivo na manutenção destes equipamentos. Um fator diferenciador para a avaliação do desempenho de bombas no terreno, são os instrumentos utilizados e as respectivas condições de instalação. O projeto das instalações deve ser desenvolvido a pensar neste tipo de atividades, quer seja na componente elétrica, quer seja na componente mecânica/hidráulica.

No que diz respeito aos processos de *revamping* dos grupos eletrobomba, é muito importante que estas intervenções tenham um espectro de avaliação alargado, aproveitando que num mesmo momento, consiga ser realizada a revisão do bem conjugando com as melhorias que possam contribuir para a elevação quer da fiabilidade quer do desempenho de grupos elevatórios de água potável. Os resultados obtidos em bombas com aproximadamente 30 anos de serviço, validaram a hipótese de que a aplicação de revestimentos no interior das volutas das bombas pode possibilitar a recuperação e por vezes até superação, dos resultados de desempenho de início de ciclo de vida obtidos em fábrica.

A melhor metodologia de aplicação de revestimentos em bombas, aponta no sentido de ser a aplicação de revestimento nas volutas e nos impulsores, contudo não deve ser negligenciada a espessura aplicada nos impulsores atendendo a que a diminuição do volume de passagem da água implica que se obtenham valores menores de caudais, ainda que com maior eficiência na elevação. Dependendo do sistema elevatório em avaliação, pode ser um fator importante a obtenção de caudais superiores, não se devendo esquecer que as empresas paralelamente com a gestão de energia, têm de fazer uma gestão de custos, recorrendo à utilização de maior número de grupos eletrobomba nos períodos em que a energia elétrica é mais barata (Vazio e Super vazio) em detrimento dos períodos onde a tarifa é mais alta (Cheia e Ponta).

Para ser possível melhorar o cálculo do retorno do investimento nos revestimentos de bombas, exige-se agora que sejam realizados ensaios de dois em dois anos com os seguintes objetivos:

- Determinação do desempenho das bombas (avaliação da curva de decaimento de rendimento das bombas);

- Avaliação dos revestimentos interiores das bombas (medição das espessuras e rugosidades para correlação com ensaio de desempenho).

Será também muito importante poder fazer o acompanhamento de processos de *revamping* de um maior número de grupos eletrobomba, para obtenção de uma amostra representativa, otimizando assim a ferramenta de suporte à tomada de decisão.

O desenvolvimento deste Trabalho Final de Mestrado permitiu identificar algumas temáticas, que seria muito interessante avaliar e aprofundar do ponto de vista académico, podendo ser devidamente integrado com a indústria da água:

- Estudo para determinação da degradação da eficiência de grupos eletrobomba, com base nas metodologias de manutenção preventiva aplicadas e das condições de exploração dos grupos eletrobomba;
- Otimização da gestão de energia em sistemas gravíticos e em sistemas elevatórios;
- Desenvolvimento de processo de automação para realização ensaios de avaliação de desempenho em campo;
- Desenvolvimento de processo para acreditação de ensaios laboratoriais em campo, para determinação da condição e do desempenho de grupos eletrobomba;
- Implementação de processo de inteligência artificial para determinação, online e em contínuo com base no SCADA, da eficiência de grupos eletrobomba e, em paralelo, avaliar parâmetros elétricos e hidráulicos que influenciem o rendimento e a fiabilidade, auxiliando a tomada de decisão de exploração visando a minimização da degradação da fiabilidade e da eficiência dos grupos eletrobomba;
- Acompanhamento de processos de *revamping* de grupos eletrobomba de modo a poder ser obtida uma amostra representativa em função da tipologia de bomba.

## Referências Bibliográficas

- [1] B. Nesbitt, Ed., *Handbook of pumps and pumping*, 1st ed. Oxford ; Burlington, MA: Elsevier in association with Roles & Associates Ltd, 2006.
- [2] A. Santos *et al.*, *Série Guias Técnicos (24) - Uso eficiente de energia nos serviços de águas - ADENE - Agência para a energia*, ERSAR., vol. 24, 27 vols. em Guias Técnicos, vol. 24. Lisboa, 2018.
- [3] AWWA, «American Water Works Association». Acedido: 23 de junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.awwa.org/>
- [4] «International Water Association - International Water Association». Acedido: 23 de junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://iwa-network.org/>
- [5] «Water Quality Association», Water Quality Association. Acedido: 23 de junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://wqa.org/>
- [6] [www.duodesign.co.uk](http://www.duodesign.co.uk), «WRAS Approvals», Water Regulations Approval Scheme Ltd. Acedido: 23 de junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wrasapprovals.co.uk/>
- [7] «Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos - ePortugal.gov.pt». Acedido: 3 de novembro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://eportugal.gov.pt/entidades/entidade-reguladora-dos-servicos-de-aguas-e-residuos>
- [8] «Prestamos serviços públicos essenciais à qualidade de vida, ao desenvolvimento das atividades económicas e à proteção do ambiente», AdP. Acedido: 3 de novembro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <http://www.adp.pt/pt/atividade/o-que-fazemos/?id=26>
- [9] W. Xia, «Polymer Coating of Pumps Boosts Efficiency, Performance», *WaterWorld*, p. 4, janeiro de 2002.
- [10] European Parliament. Directorate General for Parliamentary Research Services., *The Ecodesign Directive(2009/125/EC): European implementation assessment*. LU: Publications Office, 2017. Acedido: 5 de junho de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2861/966569>
- [11] «9AKK107319 EN 05-2018\_20848\_ABB\_Technical\_note\_IEC\_60034\_30\_1.pdf». Acedido: 1 de maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: [https://library.e.abb.com/public/db64d153e3c346938e18916e66fb1d0d/9AKK107319%20EN%2005-2018\\_20848\\_ABB\\_Technical\\_note\\_IEC\\_60034\\_30\\_1.pdf](https://library.e.abb.com/public/db64d153e3c346938e18916e66fb1d0d/9AKK107319%20EN%2005-2018_20848_ABB_Technical_note_IEC_60034_30_1.pdf)
- [12] «The Paris Agreement | UNFCCC». Acedido: 5 de junho de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- [13] RNC2050, «RNC2050 Roteiro para a Neutralidade Carbónica». Acedido: 5 de junho de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://descarbonizar2050.apambiente.pt/>
- [14] Presidência do Conselho de Ministros, *Estratégia Portugal 2030 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 98/2020*. 2020.
- [15] H. Alegre, W. Hirner, J. Melo Batista, e R. Parena, *Série Guias Técnicos (1) - Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*, IRAR / IWA., vol. 1, 27 vols. em Guias Técnicos, no. 1, vol. 1. 2004.
- [16] ERSAR, LNEC, e Nova School of Science & Technology, «Sessão de apresentação. Sistema de avaliação da qualidade de serviço: 4ª Geração. Guia Técnico n.º 27». 16 de novembro de 2021.
- [17] «ERSAR - Dados de base». Acedido: 29 de abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros/dados-de-base>

- [18] A. de C. Quintela, Fundação Calouste Gulbenkian, e Serviço de Educação e Bolsas (Lisboa, Portugal), *Hidráulica*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. Serviço de Educação e Bolsas, 2011.
- [19] 2016 GRUNDFOS Copyright, *Pump Handbook*, GRUNDFOS Holding A/S. Bjerringbro: Grundfos industry, 2016.
- [20] R. K. Turton, *Principles of turbomachinery*, 2nd ed. London Glasgow Weinheim: Chapman & Hall, 1995.
- [21] «Guia de especificação - Motores elétricos». WEG, janeiro de 2021.
- [22] S. K. Sahdev, *Electrical machines*. New York: Cambridge University Press, 2018.
- [23] A. T. De Almeida, F. J. T. E. Ferreira, e J. A. C. Fong, «Standards for Efficiency of Electric Motors», *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 17, n.º 1, pp. 12–19, jan. 2011, doi: 10.1109/MIAS.2010.939427.
- [24] «N-EUPEX Pin Coupling | Couplings | Products | Flender». Acedido: 25 de junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.flender.com/en/Products/Couplings/N-EUPEX-Pin-Coupling/p/ATN02701>
- [25] H. P. Bloch e A. R. Budris, *Pump user's handbook: life extension*, 4th edition. Lilburn, GA: The Fairmont Press, Inc, 2014.
- [26] M. L. Adams, *Power plant centrifugal pumps: problem analysis and troubleshooting*, 2nd edition. Boca Raton: Taylor & Francis, a CRC title, part of the Taylor & Francis imprint, a member of the Taylor & Francis Group, the academic division of T&F Informa, plc, 2016.
- [27] R. G. Budynas, J. K. Nisbett, e J. E. Shigley, *Shigley's mechanical engineering design*. 2020.
- [28] SKF, «SKF bearings and mounted products». [Em linha]. Disponível em: <https://www.skf.com/us/products/mounted-bearings>
- [29] P. Girdhar e O. Moniz, *Practical centrifugal pumps: design, operation and maintenance*, 1. publ. em Practical professional books from Elsevier. Amsterdam Heidelberg: Elsevier [u.a.], 2005.
- [30] API, «ANSI/API Standard 610 - Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries». 2010.
- [31] EagleBurgmann, «Mechanical Seals - Magnetic couplings».
- [32] «agua-perguntas-frequentes.pdf». Acedido: 2 de agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/default-document-library/agua-perguntas-frequentes.pdf?sfvrsn=2>
- [33] «201212041548-ft\_qi\_09\_turvacao\_23102012.pdf». Acedido: 2 de agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: [https://www.apda.pt/site/ficheiros\\_eventos/201212041548-ft\\_qi\\_09\\_turvacao\\_23102012.pdf](https://www.apda.pt/site/ficheiros_eventos/201212041548-ft_qi_09_turvacao_23102012.pdf)
- [34] EPAL, «Sinótico - “Subsistema do Médio Tejo”». 1995.
- [35] CT94 (APMI), «NP EN 13306: 2021 Terminologia da manutenção». 2021.
- [36] R. K. Mobley, L. R. Higgins, e D. J. Wikoff, *Maintenance engineering handbook*, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- [37] «Laser Alignment Tools: An Overview». Acedido: 16 de setembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.reliableplant.com/Read/31281/laser-alignment-tool>
- [38] R. Palgrave, *Troubleshooting centrifugal pumps and their systems*. Oxford ; New York: Elsevier Advanced Technology, 2003
- [39] R. A. de Castro, *LEAN SIX SIGMA Para Qualquer Negócio*, 3a ed. IST PRESS, 2016.
- [40] «ERSAR - Edições anuais do RASARP». Acedido: 1 de maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-aneais-do-RASARP.aspx>

- [41] H. Alegre *et al.*, *Série Guias Técnicos (19) - Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 2ª geração do sistema de avaliação - 2ª edição revista e atualizada*, ERSAR / LNEC., vol. 19, 27 vols. em GUIAS TÉCNICOS, no. 19, vol. 19. 2013.
- [42] *Série Guias Técnicos (22) - Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 3ª geração do sistema de avaliação*, ERSAR e LNEC., vol. 22, 27 vols. 2022.
- [43] M. A. Cardoso *et al.*, *Série Guias Técnicos (27) - Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 4ª geração do sistema de avaliação*, ERSAR., vol. 27, 27 vols. em Guias Técnicos, vol. 27. 2023.
- [44] «WEG015-changes-to-motor-legislation.pdf». Acedido: 1 de maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hd7/h5b/WEG015-changes-to-motor-legislation.pdf>
- [45] «Pump efficiency». Acedido: 1 de maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/pump-efficiency-1116510>
- [46] *Basic Principles for the Design of Centrifugal Pump Installations*, Sterling SIHI. 2003.
- [47] *Vocabulário Internacional de Metrologia - Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. 1ª edição Luso - Brasileira 2012*, Luso-Brasileira. Rio da Janeiro: IPQ - INMETRO, 2012.
- [48] «434\_435\_umeng0300.pdf». Acedido: 27 de maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/434\\_435\\_umeng0300.pdf](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/434_435_umeng0300.pdf)
- [49] «Fluke Ti300 plus - Manual do usuário.pdf».
- [50] PROCESL engenharia hidráulica e ambiental, «Reforço do Abastecimento de Água aos Concelhos de Vila Nova da Barquinha e Constância - Tomo IV - Empreitadas de equipamento electromecânico». 1993.

# **ANEXOS**

## ANEXO A Avaliação de indicadores de eficiência ERSAR

Com base na informação disponibilizada no sítio da internet da ERSAR, no separador das publicações, é possível obter todos indicadores de desempenho das entidades gestoras que os tenham comunicado devidamente [40]. Estes indicadores são anuais e são calculados para toda a empresa. Existe informação disponível desde 2015, sendo que a partir de 2016 a informação já está num formato compatível com os anos seguintes, razão pela qual a análise de dados será desenvolvida para o período compreendido entre 2016 e 2021.

Para o caso específico do indicador de eficiência na elevação de água, apresenta-se de seguida a sua evolução cronológica nos diferentes guias de indicadores que foram publicados, respetivamente em 2004 (Figura 84), 2013 (Figura 85), 2022 (Figura 86) e 2023 (Figura 87).

Ph5 – Consumo de energia normalizado (kWh/m <sup>3</sup> /100 m)
Energia total consumida nas estações elevatórias durante o período de referência / S (volume bombeado durante o período de referência x altura manométrica / 100)
Ph5 = D1 / D3
D1 - Consumo de energia para bombeamento (kWh)
D3 - Factor de uniformização (m <sup>3</sup> x 100m)
Este indicador pode ser calculado para períodos inferiores ao ano mas, nesses casos, tanto as comparações internas como externas devem ser feitas com prudência.
Este indicador corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo.
0,4 kWh/m <sup>3</sup> para 100m corresponde a uma eficiência média de bombeamento de 9810 N x 100m / (3600 J/Wh) / 400 Wh x 100 = 68%. O valor mínimo teórico, correspondente a rendimentos do motor e da bomba de 100%, é de 0,27 kWh/m <sup>3</sup> .
N.T.: Este indicador integra o sistema de avaliação desempenho do IRAR.

Figura 84 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 1 – 1ª geração de indicadores (2004) [15]

AA15ab – Eficiência energética de instalações elevatórias [kWh/(m <sup>3</sup> · 100 m)]
Consumo de energia médio normalizado das instalações elevatórias.
AA15ab = dAA26ab / dAA27ab
dAA26ab – Consumo de energia para bombeamento (kWh/ano)
dAA27ab – Fator de uniformização (m <sup>3</sup> /ano · 100 m)
Valores de referência para sistemas em alta e baixa
Qualidade do serviço boa [0,27; 0,40] (eficiências médias entre 68 e 100%)
Qualidade do serviço mediana ]0,40; 0,54] (eficiências médias entre 50 e 68%)
Qualidade do serviço insatisfatória ]0,54; +∞ [ (eficiências médias inferiores a 50%)
Este indicador consiste na quantidade média de energia consumida por m <sup>3</sup> elevado a uma altura manométrica de 100 m. Este indicador corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo. 0,454 kWh / (m <sup>3</sup> · 100 m) correspondem a uma eficiência média de bombeamento de: 9810 N x 100m / (3600 J/Wh) / 400 Wh x 100 = 68%.
O valor mínimo teórico, correspondente a rendimentos do motor e da bomba de 100%, é de 0,27 kWh/m <sup>3</sup> · 100.
Código IWA: Ph5
Código ERSAR anterior: AA19

Figura 85 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 19 – 2ª geração de indicadores (2013) [41]

<b>AA13ab – Eficiência energética de instalações elevatórias [kWh/(m<sup>3</sup> · 100 m)]</b>	
Consumo de energia médio normalizado das instalações elevatórias.	
AA13ab = dAA61ab / dAA62ab	
dAA61ab – Consumo de energia para bombeamento (kWh/ano) dAA62ab – Fator de uniformização (m <sup>3</sup> /ano · 100 m)	
<b>Valores de referência para sistemas em</b>	<b>alta e baixa</b>
Qualidade do serviço boa	[0,27; 0,40] (eficiências médias entre 68 e 100%)
Qualidade do serviço mediana	]0,40; 0,54[ (eficiências médias entre 50 e 68%)
Qualidade do serviço insatisfatória	]0,54; 5,00[ (eficiências médias inferiores a 50%)
Este indicador consiste na quantidade média de energia consumida por m <sup>3</sup> elevado a uma altura manométrica de 100 m e corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo.	
0,40 kWh / (m <sup>3</sup> · 100 m) correspondem a uma eficiência média de bombeamento de: 9810 N x 100 m / (3600 J/Wh) / 400 Wh x 100 = 68%.	
O valor mínimo teórico, correspondente a rendimentos do motor e da bomba de 100%, é de 0,27 kWh/m <sup>3</sup> · 100.	
O valor máximo admitido de 5,00 kWh/m <sup>3</sup> · 100 corresponde a rendimentos do motor e da bomba de cerca de 5%.	
Código IWA: Ph5	Código ERSAR anterior: AA15ab

Figura 86 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 22 – 3ª geração de indicadores (2022) [42]

<b>AA16ab – Eficiência energética de instalações elevatórias [kWh/(m<sup>3</sup> · 100 m)]</b>	
Objetivo: Sustentabilidade ambiental	
Critério: Eficiência na utilização de recursos ambientais	
Consumo de energia médio normalizado das instalações elevatórias.	
AA16ab = dAA72ab / dAA73ab	
dAA72ab – Consumo de energia para bombeamento (kWh/ano) dAA73ab – Fator de uniformização [m <sup>3</sup> /(ano · 100 m)]	
<b>Valores de referência para sistemas em</b>	<b>alta e baixa</b>
Qualidade do serviço boa	[0,27; 0,43] (eficiências médias entre 63% e 100%)
Qualidade do serviço mediana	]0,43; 0,60[ (eficiências médias entre 45% e 63%)
Qualidade do serviço insatisfatória	]0,60; 5,0[ (eficiências médias inferiores a 45%)
Este indicador consiste na quantidade média de energia consumida por m <sup>3</sup> elevado a uma altura manométrica de 100 m e corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo.	
0,43 kWh/(m <sup>3</sup> · 100 m) corresponde a uma eficiência média de bombeamento de: 9810 N x 100 m / (3600 J/Wh) / 430 Wh x 100 = 63%.	
O valor mínimo teórico, correspondente a rendimentos do motor e da bomba de 100%, é de 0,27 kWh/(m <sup>3</sup> · 100 m)].	
O valor máximo admitido de 5,0 kWh/(m <sup>3</sup> · 100 m)]corresponde a rendimentos do motor e da bomba de cerca de 5%.	
Neste indicador devem ser consideradas todas as instalações elevatórias.	
Código IWA: Ph5	Código ERSAR anterior: AA13ab

Figura 87 – Indicador de eficiência energética Guia técnico 27 – 4ª geração de indicadores (2023) [43]

Essencialmente este indicador manteve a fórmula de cálculo desde o primeiro guia em 2004, tendo uma relação inversa com o rendimento médio na elevação de água da instalação em

avaliação. É notório, ao longo das sucessivas atualizações, a preocupação na adequação do intervalo de valores do indicador, que classificam a instalação como estando boa, em estado mediano ou mesmo insatisfatório. É exatamente a catalogação do indicador que é necessário ter espírito crítico para avaliação dos intervalos de valores estabelecidos em função do estado expectável das instalações e da própria empresa.

Importa então avaliar quais os rendimentos mínimos expectáveis em instalações de elevação de água. É necessário conseguir avaliar o rendimento agregado de um grupo eletrobomba sabendo a priori que deverá ser útil distinguir as potências dos grupos em avaliação.

Recorde-se a fórmula para cálculo do rendimento de um grupo eletrobomba (Equação 30):

$$\eta_{grupo} = \eta_{motor} \cdot \eta_{bomba} \cdot \eta_{acoplamento} \cong \eta_{motor} \cdot \eta_{bomba} \quad (\text{Equação 30})$$

Os motores elétricos são máquinas elétricas de elevadíssimo desempenho desde há muitas décadas, podendo assumir valores superiores a 95 % em máquinas de maior potência. Considerando que a norma IEC 60034-2-1:1996 já estabelecia a segmentação de motores pela sua eficiência, EFF1, EFF2 e EFF3 percebe-se que já há cerca de 30 anos que são comercializados motores com rendimentos superiores a 80 %, para pequenas potências, até motores com rendimentos da ordem dos 97 %, para máquinas de elevada potência.

Sabe-se ainda que, desde 2015 estamos num período de transição que pretende que, progressivamente, os motores disponíveis para venda no mercado europeu, sejam paulatinamente ultra eficientes. É apresentada de seguida, na Figura 88 , alguma informação quer do planeamento para a referida transição, quer a eficiência de motores elétricos, disponíveis atualmente para venda, em função da potência.

Eficiência mínima para motores elétricos e variadores de velocidade								
Motores de indução ≤1000V		2015	2017	2018-2020	2021	2022	2023	Anos Seguintes
0,75-7,5 kW	3φ, 2/4/6 polos	IE2	IE2+VEV/IE3	→	IE3	→	→	→
7,5-375 kW	3φ, 2/4/6 polos	IE2+VEV/IE3	→	→	IE3	→	→	→
75-200 kW	3φ, 2/4/6 polos						IE4	→
0,75kW-1000kW	3φ, 2/4/6 polos				IE3	→	→	→
0,75kW-1000kW	ATEX				IE3	→	→	→
0,12kW-1000kW	Ex.						IE2	→
≥ 0,12kW	1φ						IE2	→
0,12-0,75kW	3φ				IE2	→	→	→
Variadores Eletrónicos de Velocidade								
0,12kW-1000kW					IE2	→	→	→

Figura 88 – Evolução temporal da imposição das classes de eficiência (adaptado de [44])

Pode-se verificar na Figura 89 que motores de potência entre 2 e 3 kW já podem, em 2023, ser adquiridos com rendimento próximo dos 90 %. Para esta mesma gama de potência, constata-se que um valor de rendimento reduzido, ronda atualmente os 80 %.

Eficiência super-premium	IE4
Eficiência premium	IE3
Alta Eficiência	IE2
Eficiência standard	IE1

Classes de eficiência para motores de 4 polos a 50Hz

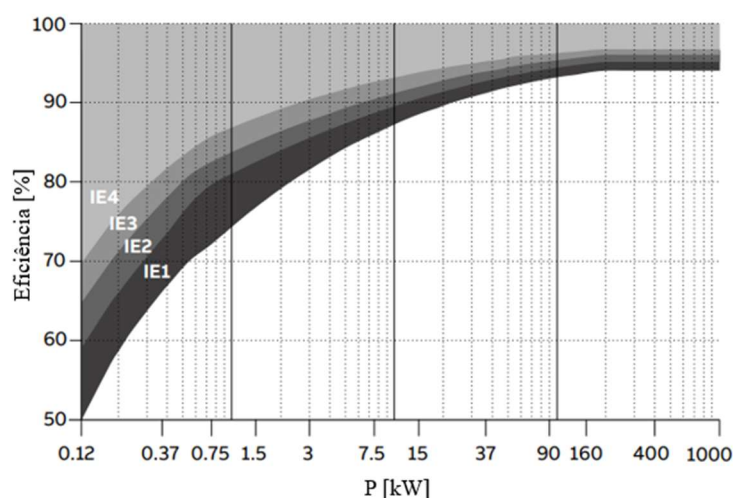


Figura 89 – Classes de eficiência e rendimentos nominais (adaptado de [11])

Conforme se pode avaliar na Figura 90 os motores elétricos super premium (IE3) e ultra premium (IE4) conseguem ser disponibilizados com valores de eficiência muito altos, quer para níveis de potência reduzido, quer para número de pares de polos elevados. Há um enquadramento global para otimização dos consumos energéticos globais, por via da utilização futura deste tipo de motores a nível mundial.

Potência [kW]	Eficiência (motores IE3)				Eficiência (motores IE4)			
	2	4 polos	6 polos	8 polos	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
0,55	77,8	80,8	77,2	73,0	81,5	83,9	80,9	77,0
0,75	80,7	82,5	78,9	75,0	83,5	85,7	82,7	78,4
11	91,2	91,4	90,3	88,6	92,6	93,3	92,3	90,4
15	91,9	92,1	91,2	89,6	93,3	93,9	92,9	91,2
18,5	82,4	92,6	91,7	90,1	93,7	94,2	93,4	91,7
30	93,3	93,6	92,9	91,3	94,5	94,9	94,2	92,7
37	93,7	93,9	93,3	91,8	94,8	95,2	94,5	93,1
45	94,0	94,2	93,7	92,2	95,0	95,4	94,8	93,4
55	94,3	94,6	94,1	92,5	95,3	95,7	95,1	93,7
75	94,7	95,0	94,6	93,1	95,6	96,0	95,4	94,2
90	95,0	95,2	94,9	93,4	95,8	96,1	95,6	94,4
110	95,2	95,4	95,1	93,7	96,0	96,3	95,8	94,7
160	95,6	95,8	95,6	94,3	96,3	96,6	96,2	95,1
200	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,3	95,4
250	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,5	95,4
315	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,6	95,4
355	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,6	95,4
400	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,6	95,4
450	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,6	95,4
500-1000	95,8	96,0	95,8	94,6	96,5	96,7	96,6	95,4

Figura 90 – Classes de eficiência (IE3 e IE4) e rendimentos nominais (adaptado de [11])

Também ao nível das bombas é possível inferir rendimentos de fábrica de bombas de elevada qualidade. Na Figura 91 apresenta-se uma figura retirada do sítio da internet de um conceituado fabricante mundial de bombas, a KSB.

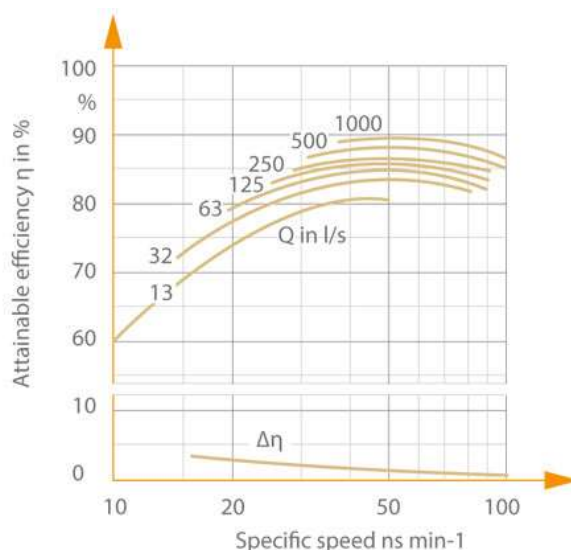


Figura 91 – Eficiência de uma bomba de um estágio em função da velocidade específica e do caudal [45]

Com base na Figura 91 e na equação de cálculo da velocidade específica é possível calcular a altura para o ponto de melhor rendimento. É assim possível calcular a potência das bombas para quatro escalões de potência e ler no gráfico o ponto de melhor rendimento.

Considera-se que uma bomba a funcionar com um rendimento inferior a dez pontos percentuais face ao melhor rendimento é uma bomba degradada, que deve ser objeto de intervenção de manutenção.

Para o motor elétrico considera-se que a sua degradação é muito mais lenta do que na bomba, pelo que se considera como boa aproximação o seu rendimento constante, para efeito de cálculo do indicador ERSAR.

Na Tabela 21 refletem-se as considerações anteriormente descritas, pretendendo-se quantificar o intervalo de valores admissíveis para o rendimento de um grupo eletrobomba poder variar. O rendimento máximo é obtido considerando um motor e uma bomba de elevado rendimento. Assume-se que o rendimento degradado, por aproximação, resulta da diminuição de 10 pontos percentuais ao rendimento máximo desse mesmo grupo eletrobomba.

Tabela 21 – Cálculo de  $H_{BEP}$  para determinação de ponto de melhor rendimento de bombas

$n_r$	$Q_{BEP}$ [l/s]	$Q_{BEP}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{BEP}$ [m <sup>3</sup> /h]	$n_s$	$H_{BEP}$	P [kW]	$\eta$ máx	$\eta$ degradado
1500	13	0,013	46,8	40	6,940	0,89	80%	70%
1500	63	0,063	226,8	50	14,759	9,12	84%	74%
1500	250	0,25	900	50	36,993	90,73	86%	76%
1500	500	0,5	1800	50	58,723	288,04	88%	78%

Apresentam-se na Tabela 22 e na Tabela 23 valores de rendimento de motores e bombas, de quatro potências distintas comuns no setor da água (sistemas em baixa e sistema em alta), para valores de rendimento altos e também para valores de rendimento baixos.

Tabela 22 – Valores de rendimento para motores e bombas novas e para bombas degradadas

Ativo	Potência	Classe de eficiência	
		baixa	alta
<b>Motor</b>	2,2kW	79,7%	89,5%
	15kW	88,7%	93,9%
	90kW	93,0%	96,1%
	400kW	94,0%	96,7%
<b>Bomba</b>	2,2kW	70,0%	80,0%
	15kW	74,0%	84,0%
	90kW	76,0%	86,0%
	400kW	78,0%	88,0%
<b>Grupo Eletrobomba</b>	2,2kW	55,8%	71,6%
	15kW	65,6%	78,9%
	90kW	70,7%	82,6%
	400kW	73,3%	85,1%
<b>Bomba DEGRADADA</b>	2,2kW	60,0%	70,0%
	15kW	64,0%	74,0%
	90kW	66,0%	76,0%
	400kW	68,0%	78,0%
<b>Grupo Eletrobomba DEGRADADO</b>	2,2kW	47,8%	62,7%
	15kW	56,8%	69,5%
	90kW	61,4%	73,0%
	400kW	63,9%	75,4%

Tabela 23 – Valores de rendimento para grupos eletrobomba novos e após degradação

Ativo	Potência	AA16ab	
		kWh/m <sup>3</sup> a 100m	
		min.	máx.
<b>Grupo Eletrobomba NOVO</b>	2,2kW	0,49	0,38
	15kW	0,42	0,35
	90kW	0,39	0,33
	400kW	0,37	0,32
<b>Grupo Eletrobomba DEGRADADO</b>	2,2kW	0,57	0,43
	15kW	0,48	0,39
	90kW	0,44	0,37
	400kW	0,43	0,36

Foi assim possível estabelecer referências entre o indicador de eficiência da ERSAR e o cálculo de rendimentos de grupos eletrobomba. É notória a diferença que se obtém no rendimento ou no indicador ERSAR, entre grupos de pequena potência e grupos de maior potência. É ainda de salientar a importância da aquisição de motores e bomba de alta eficiência para que, ao longo do ciclo de vida dos ativos, se possa funcionar com adequados níveis de desempenho.

Tendo-se descrito o significado do indicador ERSAR e a sua relação com a eficiência individual de motores e bombas, faz sentido escarpelizar a informação disponibilizada pela ERSAR, referente aos anos 2016 a 2021. A avaliação macroscópica permite fazer alguma distinção do estágio de desenvolvimento de cada entidade gestoras.

Salienta-se mais uma vez que para que o indicador ERSAR possa mais facilmente interpretado com um significado físico, foi elaborada uma tabela de conversão para a variável rendimento médio de uma instalação, sabendo que:

$$(\eta_{instalação})_{médio} = \frac{0,2725}{AA16_{ab}} \quad (Equação 31)$$

No Gráfico - 35 apresenta-se a relação do rendimento médio de uma instalação com o indicador AA16<sub>ab</sub>, sendo facilmente constatável a forte variação de rendimento de 100 % até aos 20 %, para uma pequena variação do indicador AA16<sub>ab</sub>.

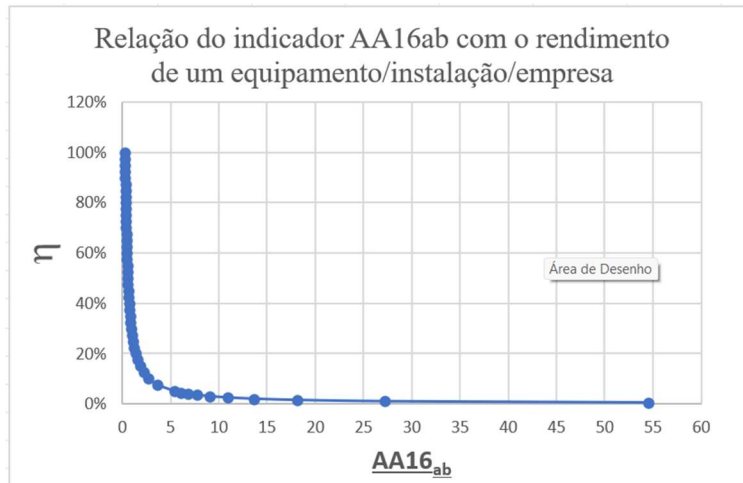


Gráfico - 35 – Relação de AA16<sub>ab</sub> com rendimento de equipamento ou instalação

Considerar-se que o valor máximo de AA16<sub>ab</sub> é 0,2725 equivale a considerar um rendimento médio de 100% o que se traduz naturalmente numa impossibilidade física. Com a tecnologia disponível no ano de 2023, considerar um rendimento máximo para um motor elétrico de 97,5 % e para uma bomba de 92 %, parecem ser valores adequados para a maximização do rendimento médio de um grupo ( $\eta_{\text{grupo}} \approx 0,897$ ). Assim, o valor mínimo teórico que AA16<sub>ab</sub> poderá assumir será próximo dos 0,3 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m. Na prática, considera-se que o valor mínimo que AA16<sub>ab</sub> poderá assumir será próximo dos 0,32 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m, razão pela qual na Tabela 24 esta zona da tabela não está sombreada. As células seguintes da tabela apresentam um sombreamento correspondente com o que se considera ser a qualidade do indicador AA16ab, assumindo a seguinte nomenclatura:

- i. Verde – Boa;
- ii. Castanho claro – Mediana;
- iii. Laranja escuro – Insatisfatório;
- iv. Vermelho claro – Muito insatisfatório.

Tabela 24 – Conversão de indicador ERSAR AA16<sub>ab</sub> em rendimento médio de instalações

( $\eta_{\text{instalação}}$ ) <sub>méd</sub>	AA16ab	( $\eta_{\text{instalação}}$ ) <sub>méd</sub>	AA16ab	( $\eta_{\text{instalação}}$ ) <sub>méd</sub>	AA16ab
100%	0,2725	67,5%	0,4037	35,0%	0,7786
97,5%	0,2795	65,0%	0,4192	32,5%	0,8385
95,0%	0,2868	62,5%	0,4360	30,0%	0,9083
92,5%	0,2946	60,0%	0,4542	27,5%	0,9909
90,0%	0,3028	57,5%	0,4739	25,0%	1,0900
87,5%	0,3114	55,0%	0,4955	22,5%	1,2111
85,0%	0,3206	52,5%	0,5190	20,0%	1,3625
82,5%	0,3303	50,0%	0,5450	17,5%	1,5571
80,0%	0,3406	47,5%	0,5737	15,0%	1,8167
77,5%	0,3516	45,0%	0,6056	12,5%	2,1800
75,0%	0,3633	42,5%	0,6412	10,0%	2,7250
72,5%	0,3759	40,0%	0,6813	7,5%	3,6333
70,0%	0,3893	37,5%	0,7267	5,0%	5,4500

Sistematizando a informação reportada, tem-se em termos globais - Gráfico - 36, das 229 EGs (em baixa) que reportaram à ERSAR os seus indicadores de qualidade, apenas 55 % conseguiu calcular e remeter um valor médio para o indicador de desempenho na elevação de água da sua empresa:

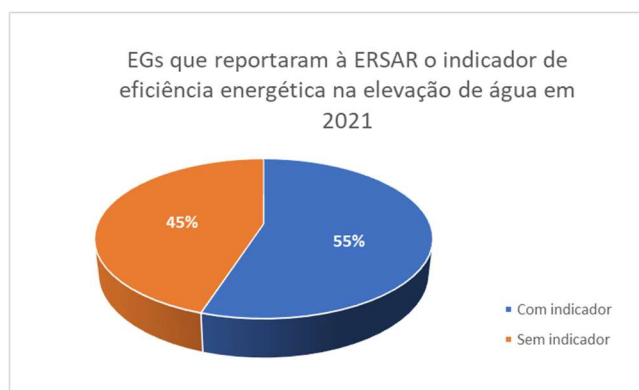


Gráfico - 36 – Proporção de entidades que reportaram o indicador de desempenho energético em 2021

Tabela 25 – Número de EGs com e sem indicador em 2021

TipoSistema	Baixa
Rótulos de Linha	Contagem de Empresa
Com indicador	126
Sem indicador	103
<b>Total Geral</b>	<b>229</b>

Do ponto de vista da gestão da manutenção, é preocupante que haja um valor tão expressivo de EG que não reportam este indicador (Tabela 25), desconhecendo-se o motivo que levará à falta de reporte, deverá ocorrer muitas vezes a inexistência de corpos técnicos que saibam interpretar as necessidades subjacentes ao seu cálculo.

Importa avaliar das empresas que reportam o indicador, qual o seu desempenho anunciado, catalogando-se a qualidade do valor do indicador em cinco níveis (Tabela 26).

Tabela 26 – Qualidade do indicador ERSAR agrupado em cinco categorias

AA16ab Intervalo	$\eta$ médio		Qualidade do Indicador	
	min.	máx.		
]0,2725 ; 0,38]	72%	100%	A	Boa
]0,38 ; 0,45]	61%	72%	B	Mediana
]0,45 ; 0,57]	48%	61%	C	Insatisfatória
]0,57 ; 5]	5%	48%	D	Muito insatisfatória
Sem indicador comunicado			F	

No Gráfico - 37 e na Tabela 27 apresentam-se os resultados qualitativos dos indicadores de eficiência energética que as EG em baixa apresentaram no ano de 2021.

Gráfico - 37 – EG em baixa: qualidade do indicador de eficiência energética

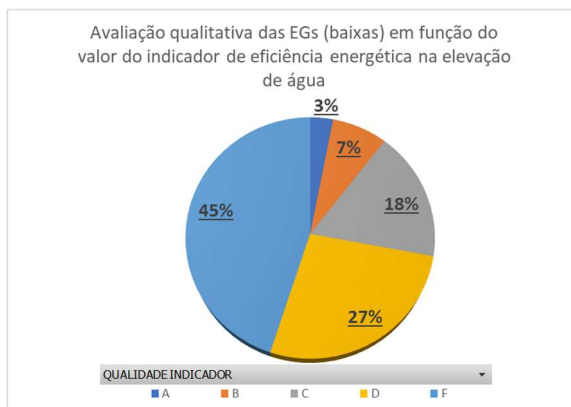


Tabela 27 – EG em baixa: qualidade do indicador de eficiência energética

Qualidade do indicador	Número de Empresas
A	7
B	17
C	40
D	62
F	103
<b>Total Geral</b>	<b>229</b>

À semelhança da informação das “baixas”, é apresentado no Gráfico - 38 e na Tabela 28 a informação referente às empresas “em alta” no ano de 2021. Claramente a eficiência energética das EG é superior, mas não alcança globalmente o patamar de qualidade desejável.

Gráfico - 38 – EG em alta: qualidade do indicador de eficiência energética

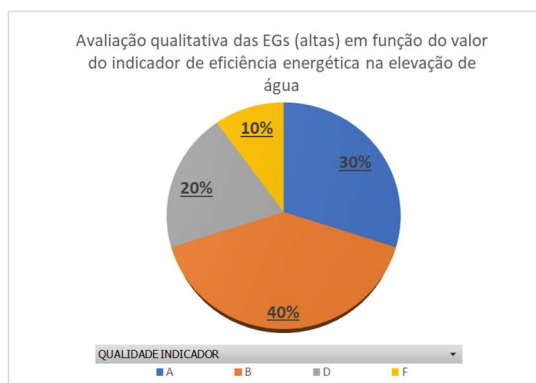


Tabela 28 – EG em alta: qualidade do indicador de eficiência energética

Qualidade do indicador	Número de Empresas
A	3
B	4
D	2
F	1
<b>Total Geral</b>	<b>10</b>

No ano de 2021 verifica-se que, das 10 empresas em “alta”, apenas 6 tinham a certificação segundo o referencial da EN 50001 (Tabela 29).

Tabela 29 – EG em alta certificadas segundo a norma EN 50 001

Tipo Sistema	Alta		
Período	2021		
Indicador	Certificação energética		
<b>Contagem de Certificação Energética</b>		<b>Rótulos de Coluna</b>	
<b>EMPRESAS DE SISTEMAS EM BAIXA / DISTRITO</b>	<b>Sem certificação</b>	<b>Com certificação</b>	<b>Total Geral</b>
Aveiro	1		1
Beja		1	1
BRAGAN + VR		1	1
Castelo Branco	1		1
COIM + LEI + AV		1	1
Faro	1		1
Lisboa		1	1
PORTAL + BEJ + GUA + CB		1	1
Porto		1	1
Setúbal	1		1
<b>Total Geral</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>

Mais elucidativa é a constatação de que nas empresas em baixa, das 197 a reportar indicadores, apenas 4 estão certificadas no referencial de gestão de energia (Tabela 30).

Tabela 30 – EG em baixa certificadas segundo a norma EN 50 001

TipoSistema	Baixa			
Periodo	2021			
Indicador	Certificação energética			
<b>Contagem de Certificação Energética</b>		<b>Rótulos de Coluna</b>		
<b>EMPRESAS DE SISTEMAS EM BAIXA / DISTRITO</b>	<b>Sem certificação</b>	<b>Com certificação</b>	<b>Total Geral</b>	
Aveiro	6	1	7	
Beja	14		14	
Braga	12		12	
Bragança	11		11	
Castelo Branco	10		10	
Coimbra	8		8	
Évora	14		14	
Faro	15		15	
Guarda	13		13	
Leiria	6		6	
Lisboa	7	1	8	
Portalegre	14		14	
Porto	12		12	
Santarém	9		9	
Setúbal	11	1	12	
Viana do Castelo	6		6	
Vila Real	7	1	8	
Viseu	18		18	
<b>Total Geral</b>	<b>193</b>	<b>4</b>	<b>197</b>	

Embora as empresas não estejam maioritariamente certificadas neste domínio, deverão fazer as suas medições e calcular o indicador de desempenho energético na elevação de água.

Sendo este um indicador médio de desempenho de um conjunto alargado de equipamentos, não deverá ser verosímil que haja alterações significativas do valor do indicador, num prazo relativamente reduzido de anos. A implementação de boas políticas de gestão da manutenção, deverão implicar tendências relativamente lentas de decréscimo do valor do indicador AA16<sub>ab</sub>. Apresentam-se de seguida os resultados da evolução do indicador, distrito a distrito, estando identificado em todos os gráficos, com linha horizontais a tracejado, os limites dos patamares qualidade do indicador: verde – boa, laranja – média e vermelho - insatisfatória.

- Distrito de Aveiro - Gráfico 39;
- Distrito de Beja - Gráfico 40;
- Distrito de Braga - Gráfico 41;
- Distrito de Bragança – Gráfico 42;
- Distrito de Castelo Branco – Gráfico 43;
- Distrito de Coimbra – Gráfico 44;
- Distrito de Évora – Gráfico 45;
- Distrito de Faro – Gráfico 46;
- Distrito de Guarda – Gráfico 47;

- Distrito de Leiria – Gráfico 48;
- Distrito de Lisboa – Gráfico 49;
- Distrito de Portalegre – Gráfico 52;
- Distrito do Porto – Gráfico 53;
- Distrito de Santarém – Gráfico 50;
- Distrito de Setúbal – Gráfico 51;
- Distrito de Viana do Castelo – Gráfico 54;
- Distrito de Vila Real – Gráfico 56;
- Distrito de Viseu – Gráfico 55.

Globalmente a variação significativa ao longo dos anos dos valores do indicador AA16ab é desajustado, havendo uma amostra de dimensão considerável com valores absolutos praticamente impossíveis de obter. Importa, sem qualquer dúvida, melhorar o rastreamento da cadeia de recolha de medidas em que as EG alicerçam os seus cálculos. Não sendo possível conciliar a possibilidade da leitura dos valores do indicador AA16ab que estão dentro dos limites medianos de desempenho, com os valores máximos que algumas EGs comunicaram, optou-se por limitar a escala a 1,000 kWh/m<sup>3</sup> a 100 m, perdendo-se a capacidade de leitura de alguns valores, que se reconhece serem pouco relevantes para este tipo de interpretação.

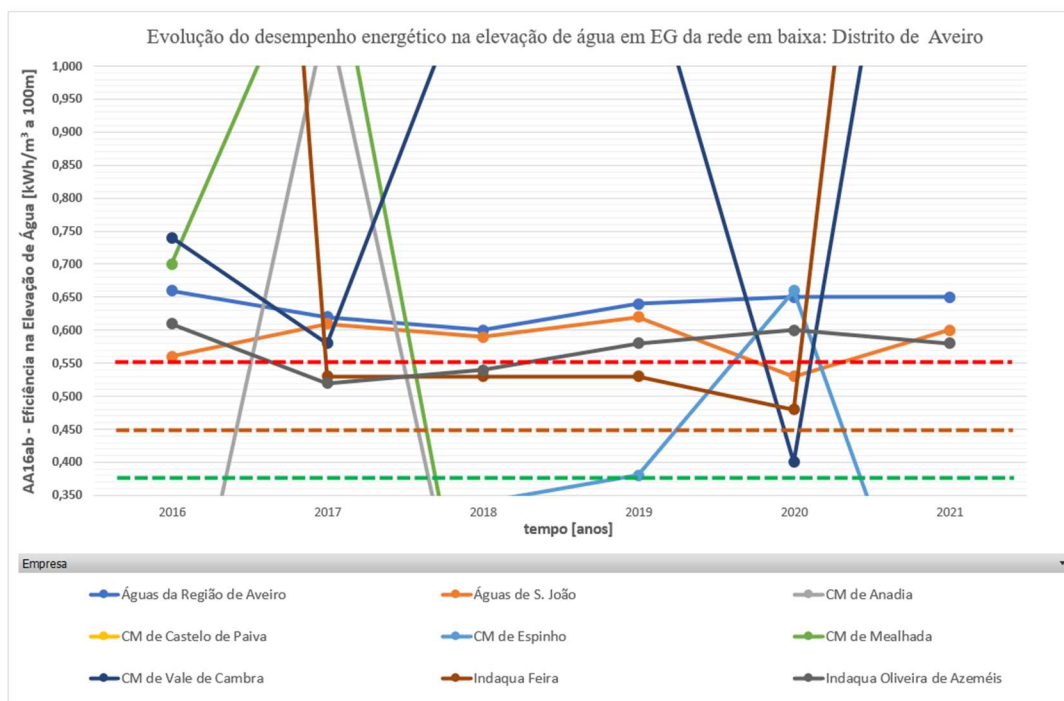


Gráfico 39 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Aveiro

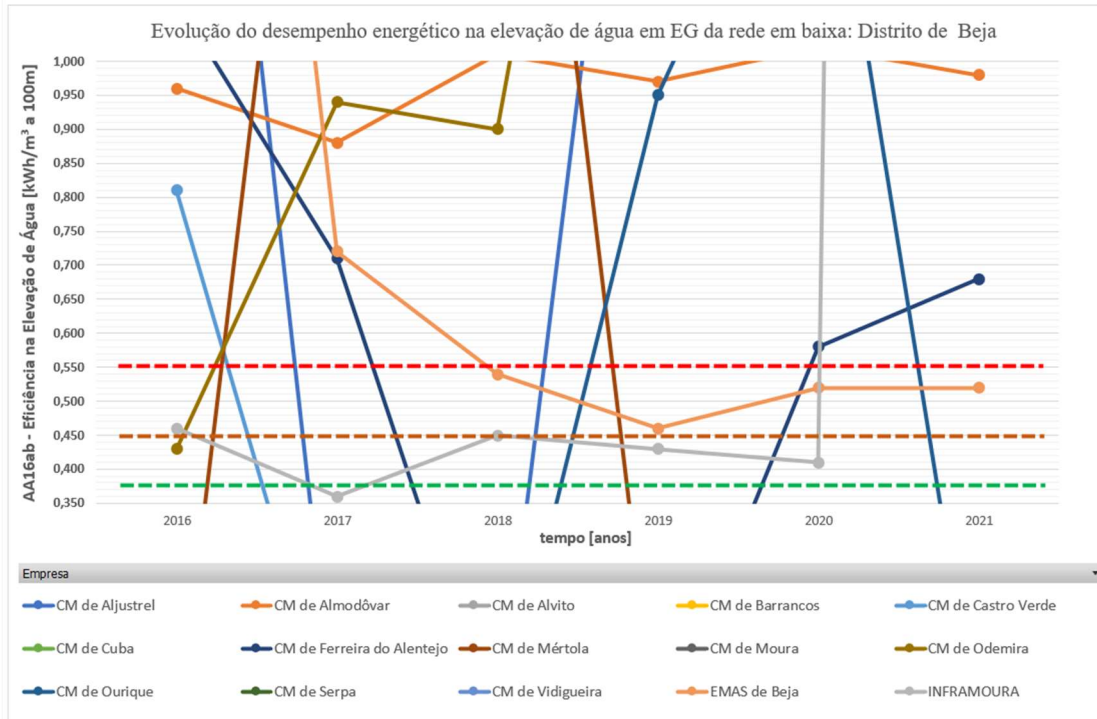


Gráfico 40 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Beja

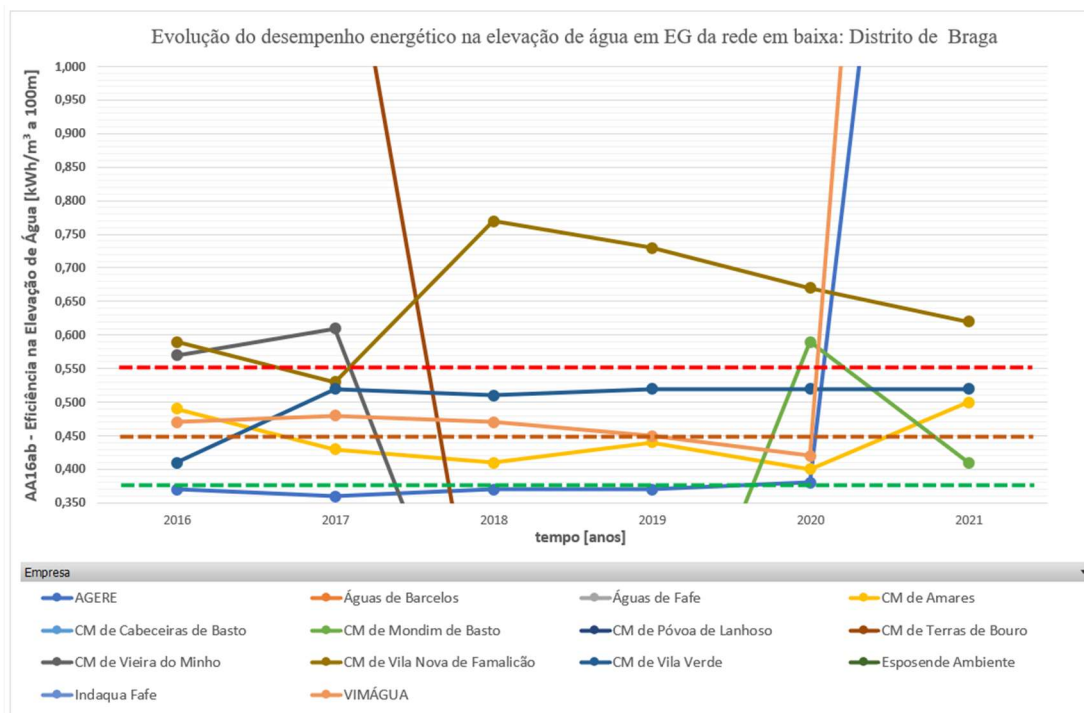


Gráfico 41 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Braga

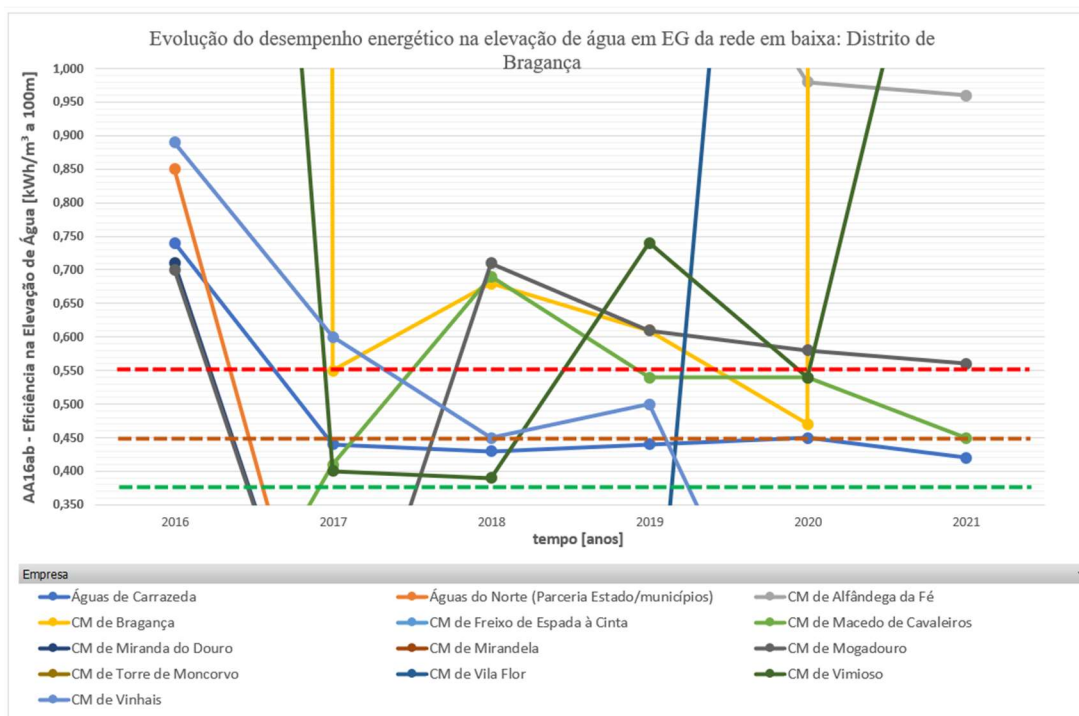


Gráfico 42 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Bragança

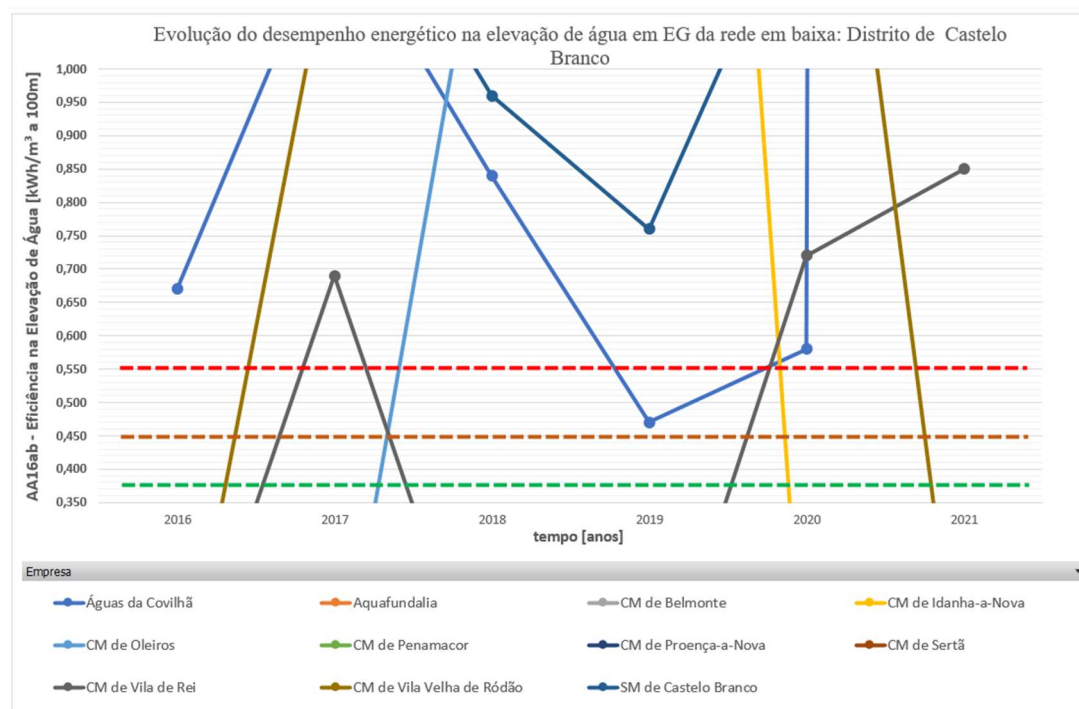


Gráfico 43 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Castelo Branco

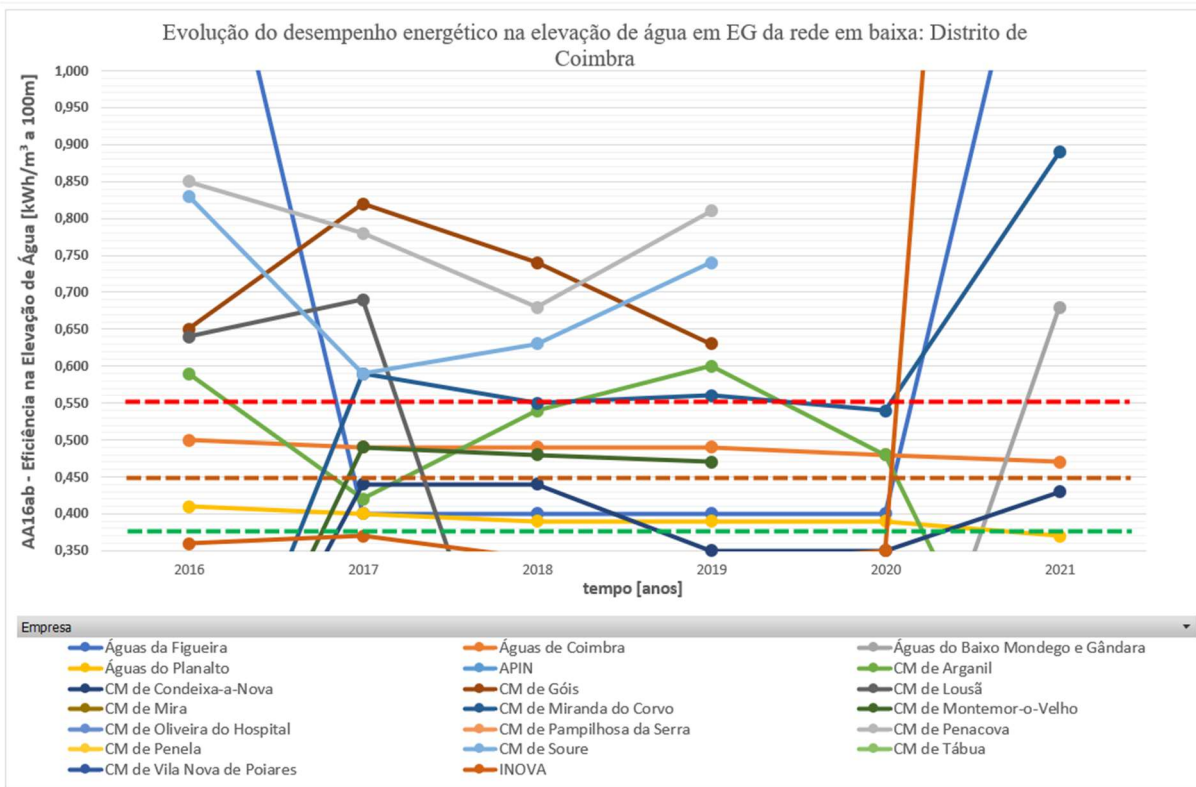


Gráfico 44 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Coimbra

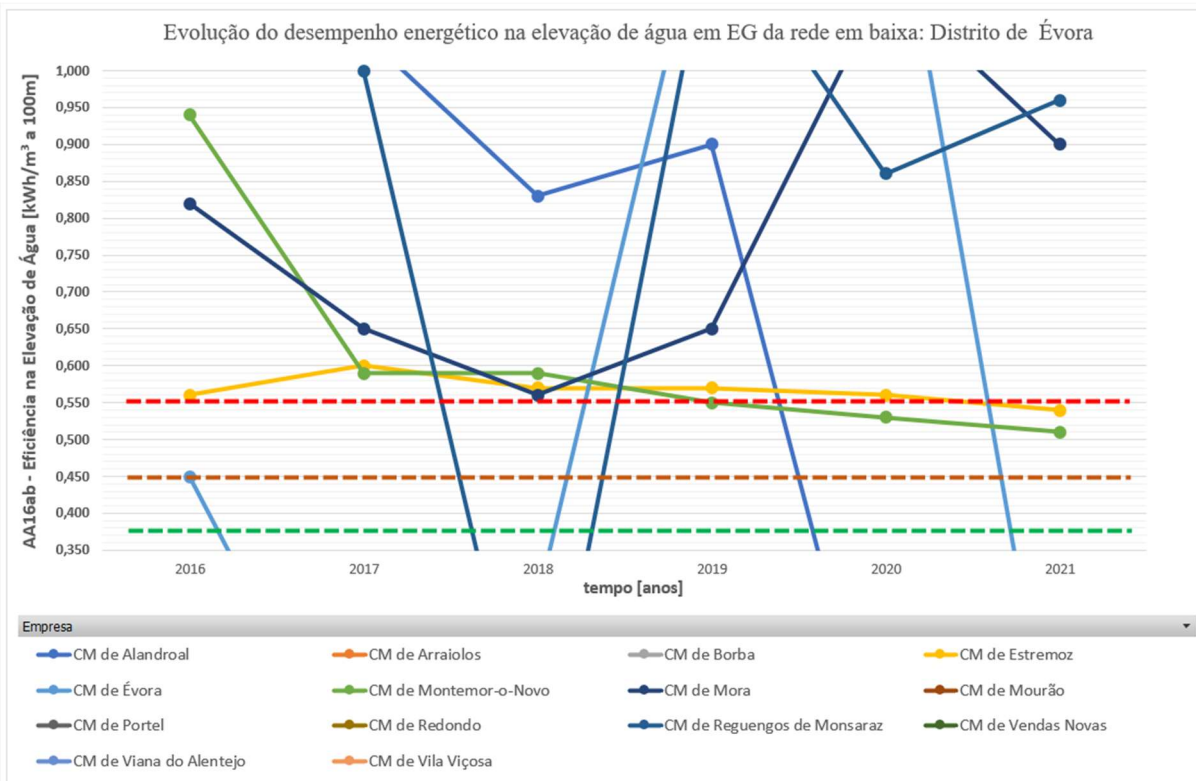


Gráfico 45 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Évora

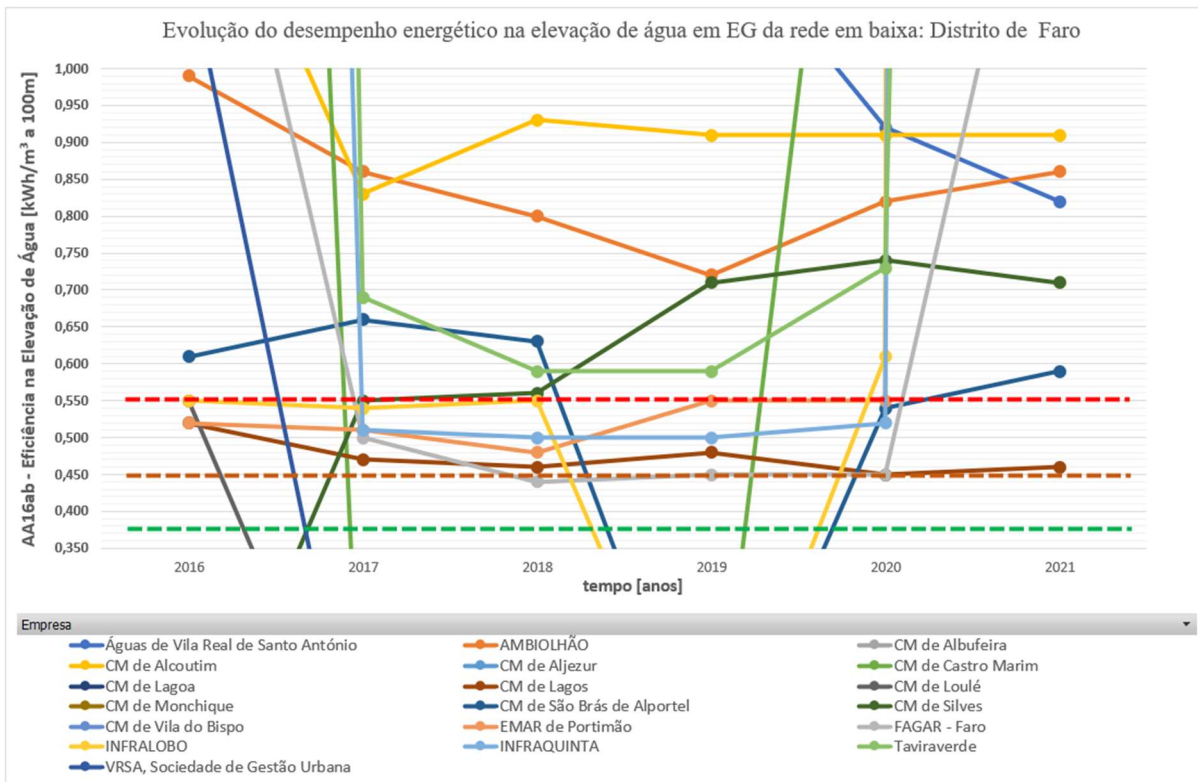


Gráfico 46 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Faro

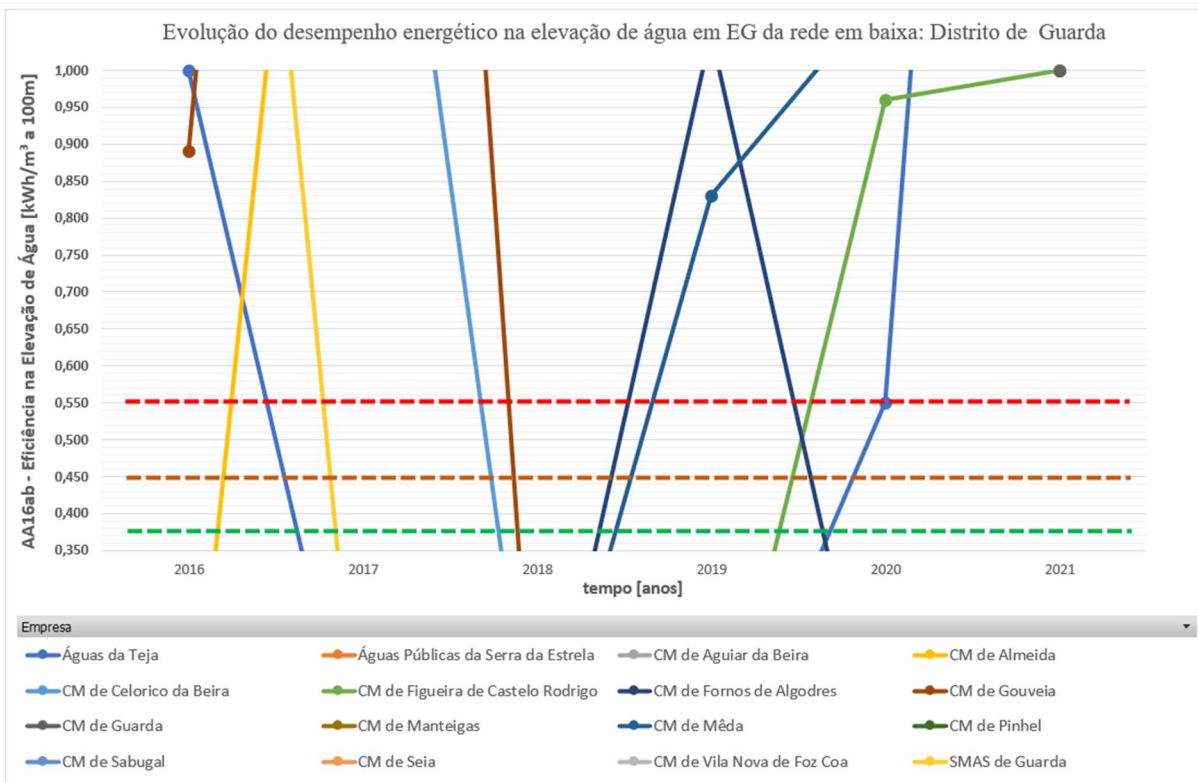


Gráfico 47 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Guarda

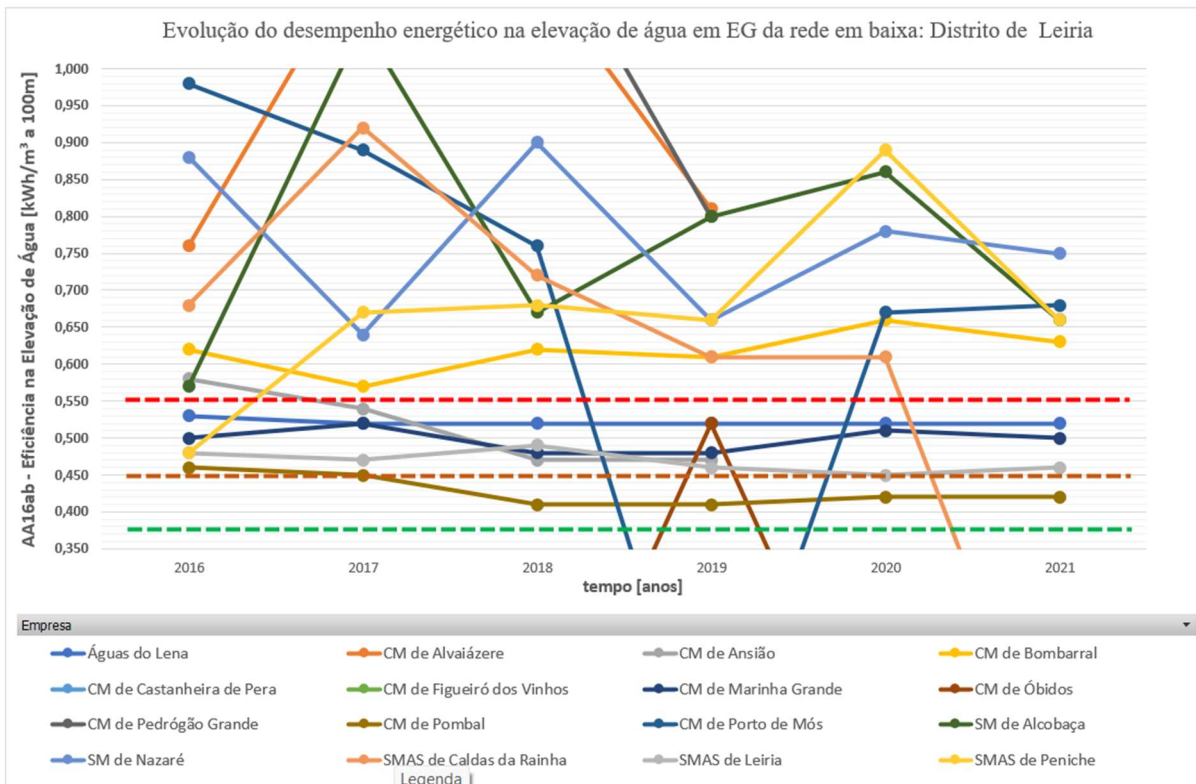


Gráfico 48 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Leiria

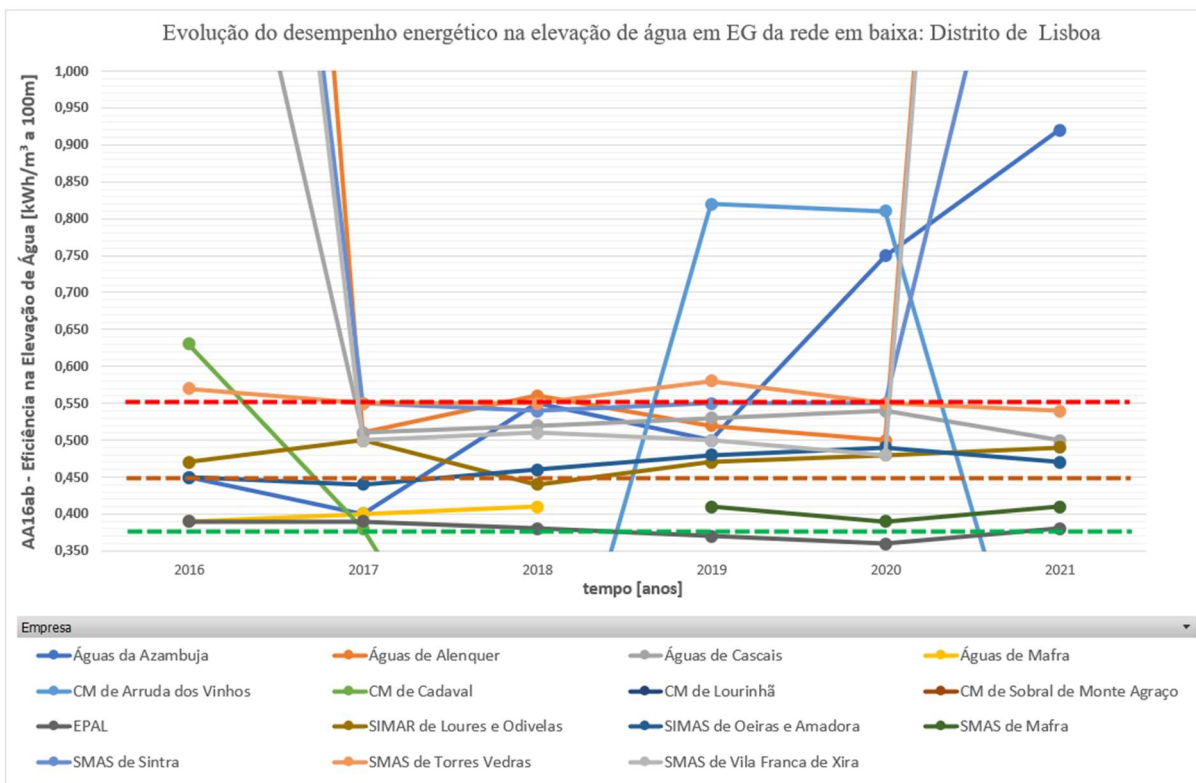


Gráfico 49 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Lisboa

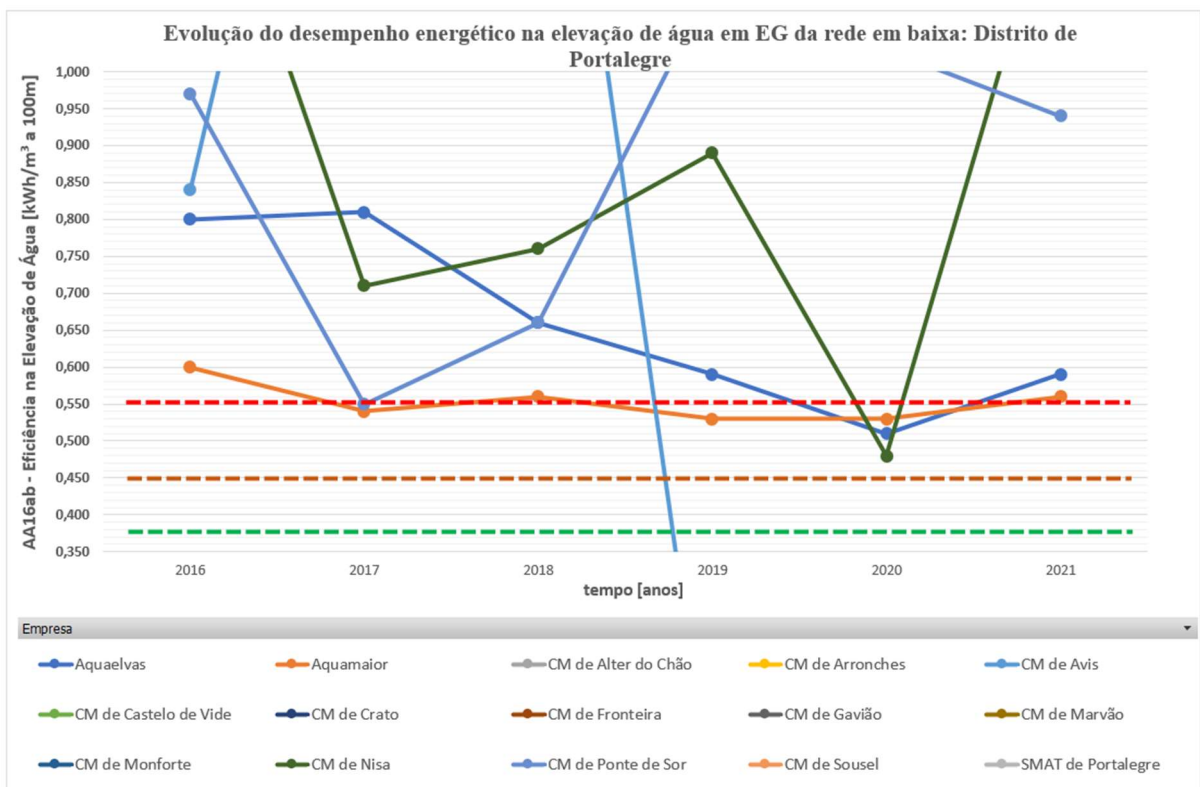


Gráfico 50 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Portalegre

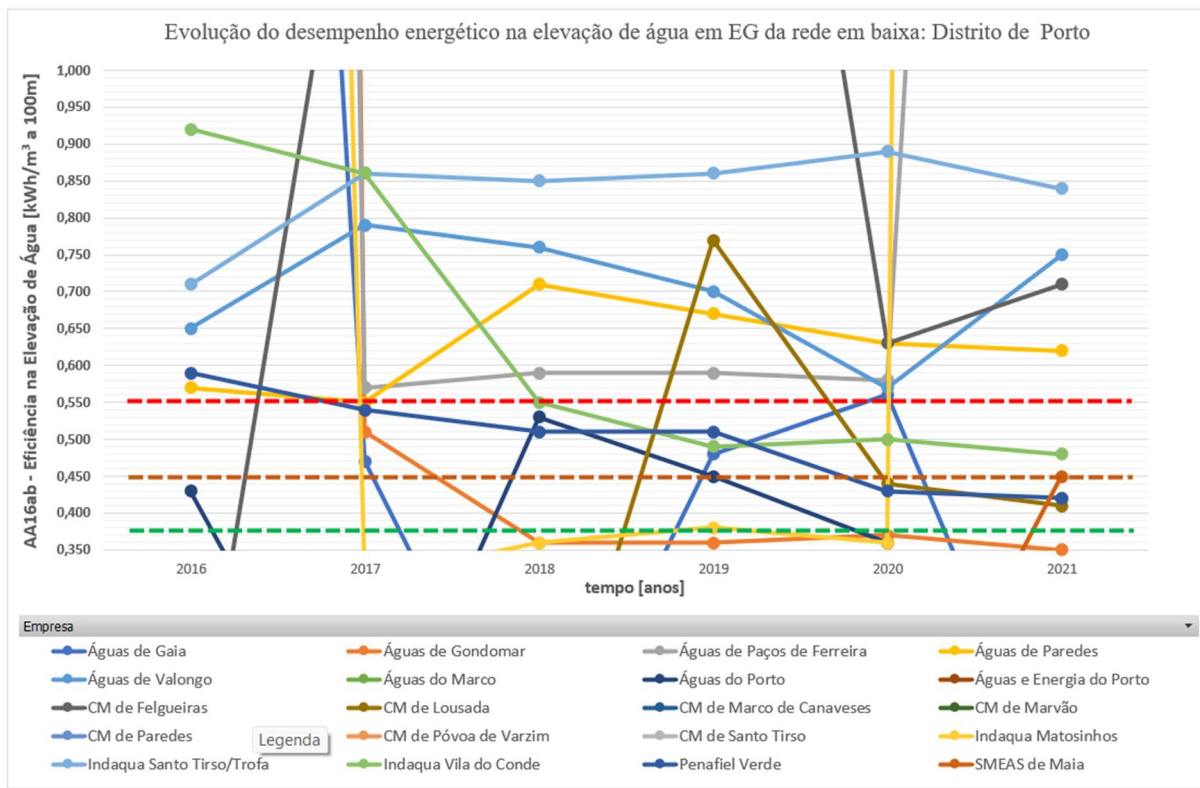


Gráfico 51 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Porto

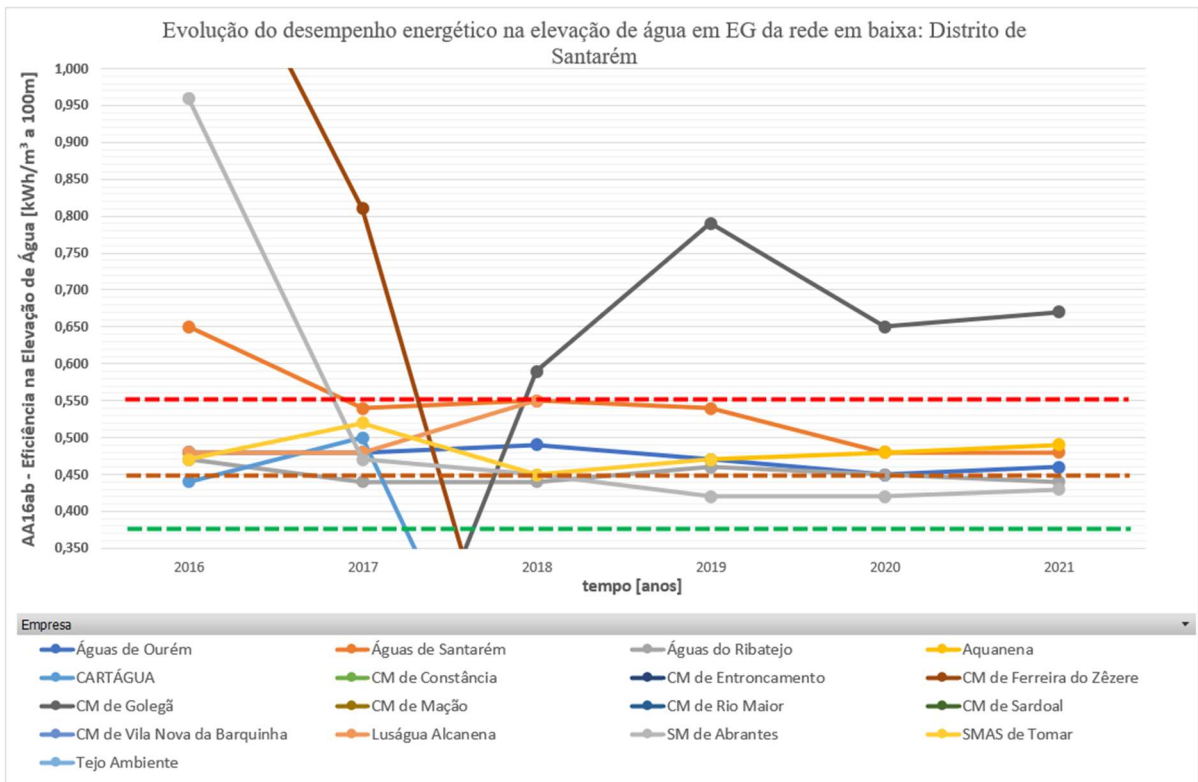


Gráfico 52 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Santarém

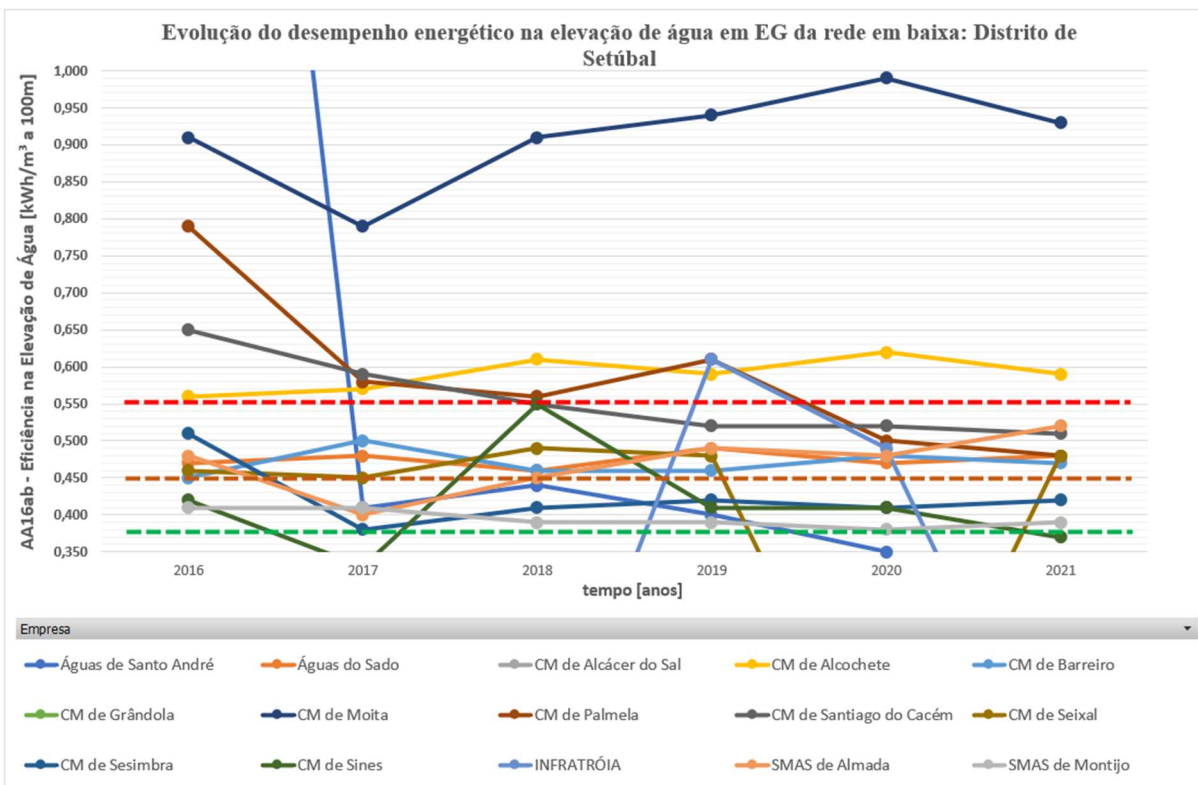


Gráfico 53 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Setúbal

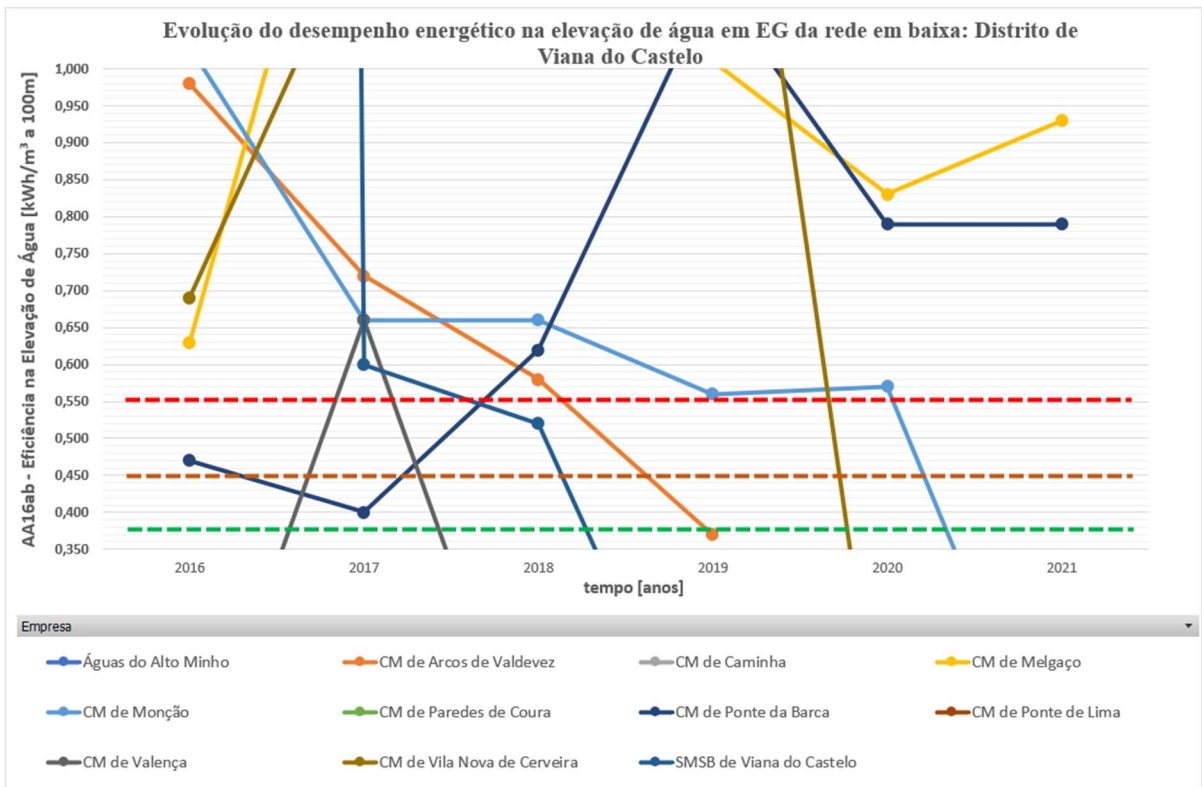


Gráfico 54 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Viana do Castelo

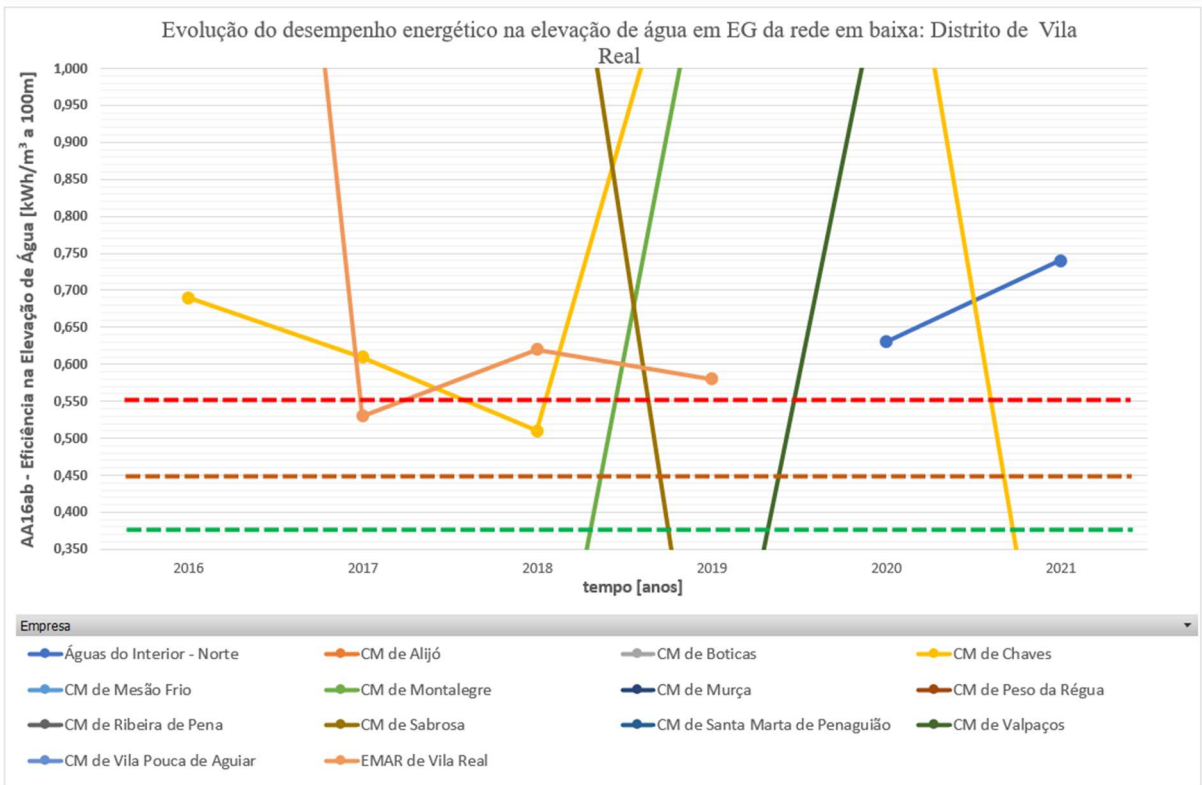


Gráfico 55 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Vila Real

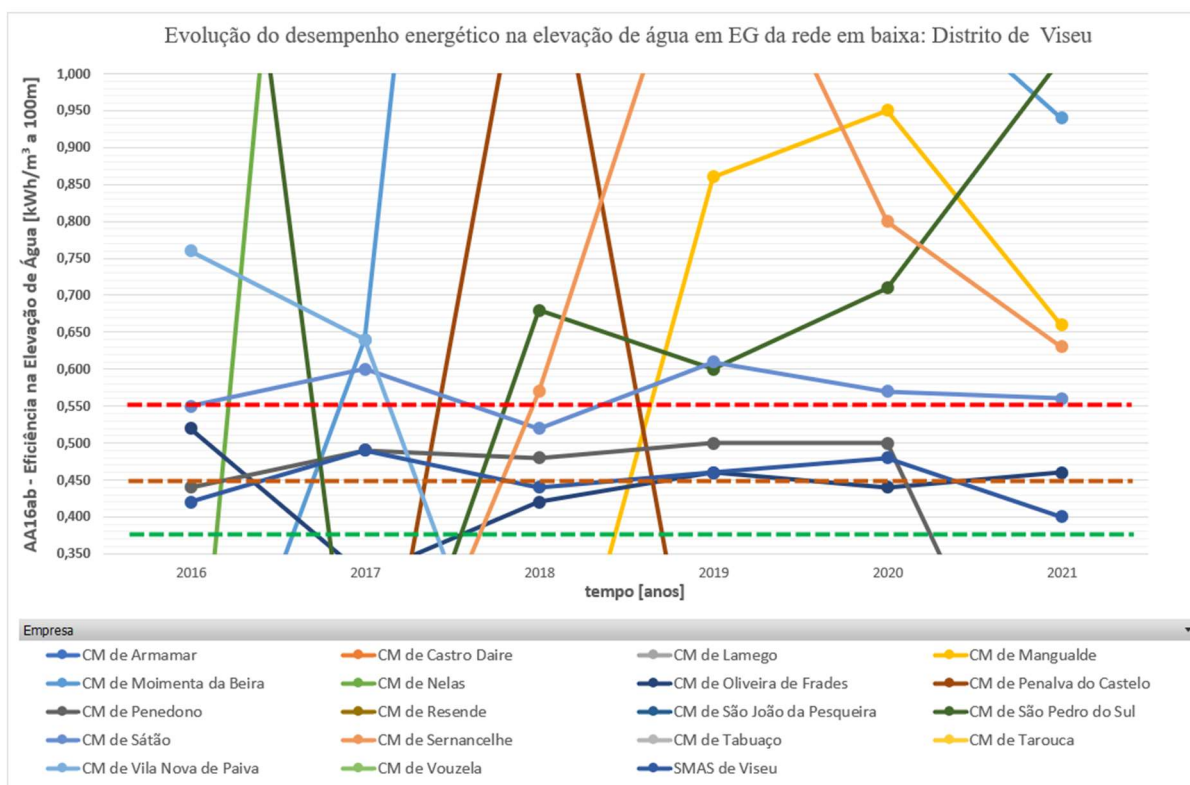


Gráfico 56 – Indicador de desempenho energético na elevação de água no distrito de Viseu

Nas EG em alta é notório que existe uma maior preocupação no reporte do indicador de eficiência energética, havendo inclusivamente um histórico de reporte bom (Tabela 31).

Tabela 31 – Empresas em “Alta” com certificação energética (ISO 50001)

Rótulos de Linha	2017	2018	2019	2020	Total Geral
Águas de Santo André	0	1	1	0	2
Águas do Algarve	0	0	0	0	0
Águas do Centro Litoral	0	1	1	1	3
Águas do Douro e Paiva	1	1	1	1	4
Águas do Norte (Concessão multimunicipal)	0	1	1	1	3
Águas do Vale do Tejo	1	1	1	1	4
Águas do Vouga	0	0	0	0	0
Águas Públicas do Alentejo	0	0	0	0	0
EPAL	1	1	1	1	4
ICOVI	0	0	0	0	0
<b>Total Geral</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
	<b>30%</b>	<b>60%</b>	<b>60%</b>	<b>50%</b>	

No Gráfico - 57 é possível verificar que há EG em alta a apresentarem sustentadamente valores de indicadores de eficiência energética bons. Atendendo a que este indicador deve apresentar uma enorme estabilidade, consequência natural das políticas de gestão de exploração e de manutenção, é muito importante monitorizar e justificar os desvios que se registam.

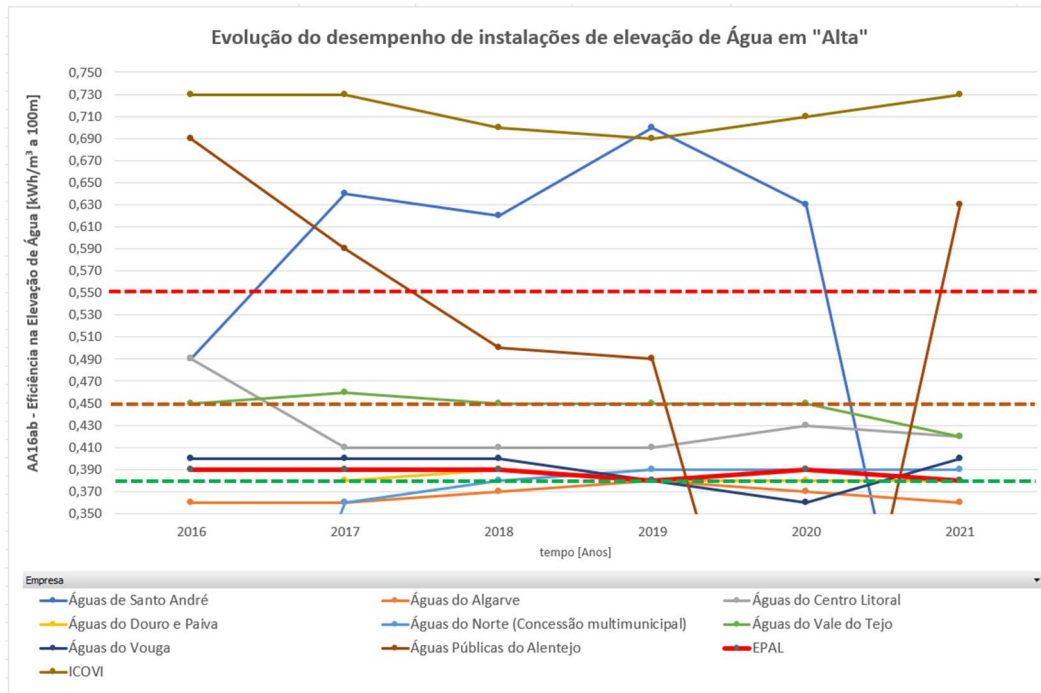


Gráfico - 57 – Indicador de desempenho energético na elevação de água das EG em “alta”

No fim deste anexo não se poderia deixar de apresentar - Figura 92 - o modelo de regulação sob o qual importa refletir. É vital para este setor que quer as EG em alta quer as EG em baixa, possam ter conhecimento técnicos e meios para alterar significativamente o atual panorama.



Figura 92 – Modelo de regulação e supervisão da ERSAR (adaptado de [43])

## ANEXO B Conceitos fundamentais

Complementarmente a alguns conceitos apresentados no texto principal em Apresentam-se alguns temas e conceitos, importantes no desenvolvimento deste trabalho, para melhor compreensão da temática da água potável e dos grupos eletrobomba, essenciais para a elevação de água, que são complementados com a informação disponibilizada no ANEXO B. Conceitos fundamentais, será exposta mais alguma informação com utilidade no cálculo de algumas grandezas a que se tem de recorrer para interpretar resultados dos ensaios realizados.

### Massa volúmica (densidade)

É relação da massa de uma determinada substância com o seu volume. Em substâncias líquidas e gasosas esta grandeza varia com a pressão e com a temperatura. A unidade é  $\text{kg/m}^3$ .

A água tem uma massa volúmica de  $1000 \text{ kg/m}^3$  a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  e à pressão normal de uma atmosfera, sendo este o seu valor máximo.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Equação 32})$$

### Peso volúmico

É relação do peso de uma determinada substância com o seu volume.

$$\gamma = g\rho = g \frac{m}{V} = \frac{P}{V} \quad (\text{Equação 33})$$

Para efeito de cálculo considera-se o peso volúmico da água igual a  $9810 \text{ N/m}^3$ .

### Hidráulica

Sendo o caudal constante ao longo de um determinado sistema, sabe-se que a velocidade de escoamento varia em função da área da secção (continuidade):

$$Q = A \cdot v \quad (\text{Equação 34})$$

### Viscosidade

A viscosidade é uma propriedade física dos fluidos que caracteriza a sua resistência à deformação. O movimento de um fluido tem como consequência o aparecimento de forças resistentes, que dissipam parte da energia mecânica que é fornecida ao fluido.

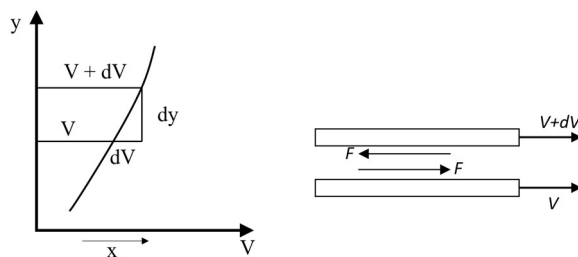


Figura 93 – Movimento unidirecional e força de arrastamento (adaptado de [18])

Considerando constantes as condições de temperatura e pressão e fazendo a avaliação de um fluido Newtoniano temos que:

$\mu$  - Coeficiente de viscosidade dinâmica [Pa·s];  $\tau$  - Tensão tangencial ou tensão de arrastamento

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \quad (\text{Equação 35})$$

$\nu$  - Viscosidade cinemática ou viscosidade relativa [m<sup>2</sup>/s]

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Equação 36})$$

Considerando como fluido a água, tem-se que a variação da viscosidade cinemática com a temperatura é:

Tabela 32 – Variação da viscosidade da água com a temperatura [18]

Temperatura [°C]	4	10	20
Viscosidade relativa [m <sup>2</sup> /s]·10 <sup>-6</sup>	1.57	1.31	1.01

Esta propriedade é muito relevante em lubrificantes, sendo normalmente utilizadas unidades no sistema CGS. As unidades equivalentes e conversões respectivas são:

- Viscosidade dinâmica: [Pa·s] = 10[P] ⇒ [mPa·s] = [cP] ; P – Poise;
- Viscosidade relativa: [m<sup>2</sup>/s] = 10<sup>4</sup> [St] ⇒ [St] = 10<sup>-4</sup> [m<sup>2</sup>/s] ; St- Stokes.

## Eletrotecnia

As redes elétricas são descritas por equações em termos de duas grandezas: a corrente elétrica e a tensão elétrica.

A corrente elétrica corresponde a uma movimentação de carga num determinado período (Coulomb/s) e tem a unidade de Ampere e símbolo *i*.

A tensão elétrica é o integral do campo elétrico ao longo de um caminho entre dois pontos. Neste âmbito é apenas necessário reter que a tensão se avalia com base em dois pontos de uma rede (onde haja uma diferença de potencial). A unidade da tensão elétrica é o Volt e o símbolo é V. Neste trabalho recorre-se à letra U para designar a tensão elétrica.

A tensão e a corrente relacionam-se em função do tipo carga onde se aplica a tensão e que origina uma corrente. Iremos considerar a existência de três tipos de carga: resistiva (R), indutiva (L) e capacitiva (C).

$$U = Zi = Z_R i = Z_L i = Z_C i \quad (\text{Equação 37})$$

A produção e o consumo de energia são conceitos associados à realização de um trabalho e, portanto, a uma transformação de um tipo de energia, noutra tipo de energia.

Um conceito muito importante é a relação entre energia e a potência expressa na (Equação 38), sendo que no SI se expressa em Joule:

$$E = \int P dt \quad (\text{Equação 38})$$

## Sistemas alternados trifásicos

No âmbito de sistemas trifásicos consideram-se grandezas alternadas no tempo, sinusoidais, ou seja, o seu valor varia permanentemente no tempo. Por esse motivo existe a noção dos seguintes valores: máximo, mínimo, médio e eficaz. O valor eficaz tem enorme relevância por ser eficaz do ponto de vista energético e por esse motivo é muito comum ser utilizado.

A uma grandeza alternada sinusoidal está ainda associada uma frequência (Equação 39).

$$f = \frac{1}{T} (*) \quad (\text{Equação 39})$$

(\*) T – período de uma onda sinusoidal em s

Neste caso, na rede elétrica nacional Portuguesa, a tensão monofásica será dada em valores instantâneos por (Equação 40):

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U_{eficaz} \cdot \text{sen}(\omega t), \omega = 2\pi f \text{ e } U_{eficaz} = 230 \text{ V} \quad (\text{Equação 40})$$

Podendo ser calculada a corrente com recurso à lei de Ohm, obtendo-se a fórmula da (Equação 41) em que a corrente tem um desfasamento de  $\varphi$  da tensão, que depende das características da carga ( $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ ):

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I_{eficaz} \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi), \omega = 2\pi f \quad (\text{Equação 41})$$

A potência ativa é a parcela de potência que é convertida em trabalho e é dada por:

$$P_a = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I \cdot \cos\varphi [\text{W}] \quad (\text{Equação 42})$$

A potência reativa, não produzindo trabalho, é essencial para o funcionamento de motores de corrente alternada, sendo dada por:

$$Q_r = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I \cdot \text{sen}\varphi [\text{VAr}] \quad (\text{Equação 43})$$

A máquina de indução / motor assíncrono - Figura 94 – pode ser desenhada em termos de um circuito elétrico monofásico equivalente para facilitar a análise. Neste circuito a corrente  $I_1$  representa a corrente estatória ( $R_1$  e  $X_1$  são as perdas resistivas e magnéticas no estator), a corrente  $I_0$  representa a magnetização entre estator e rotor ( $X_0$  e  $R_0$  são as perdas resistivas e indutivas da magnetização) e  $I_2$  é a corrente no rotor que, para além da representação das suas perdas resistivas e indutivas inclui uma resistência variável em função do escorregamento ( $R_L$ ), que representa a carga aplicada à máquina. Na Figura 95 apresenta-se um esquema semelhante ao anterior, mas exclusivamente com a componente elétrica.

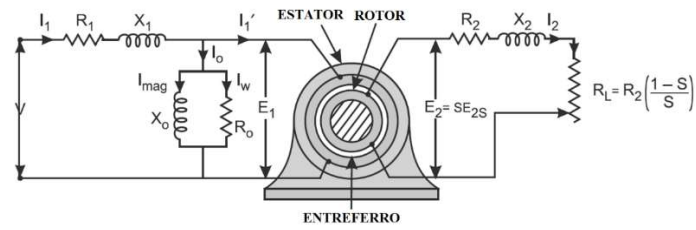


Figura 94 – Motor de indução – circuito equivalente (adaptado de [22])

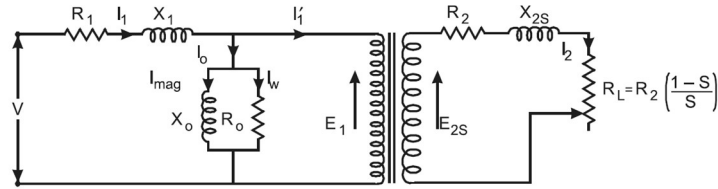


Figura 95 – Motor de indução – circuito equivalente [22]

A Figura 96 contém a representação gráfica da curva de Binário/velocidade de uma máquina assíncrona, identificando a suas três possíveis zonas de funcionamento: travão, motor e gerador. Para cada uma destas zonas existe um intervalo da variação de escorregamento. Como já referido anteriormente, para a situação de funcionamento como motor, o escorregamento desta máquina varia entre 0 (velocidade de sincronismo) e 1 (máquina parada). É ainda muito relevante salientar que o binário máximo é atingido num ponto relativamente próximo da velocidade de sincronismo, facto que reveste esta máquina de ser um excelente elemento num processo de controlo, com capacidade de desenvolvimento de elevados binários, nas proximidades dos pontos de funcionamento.

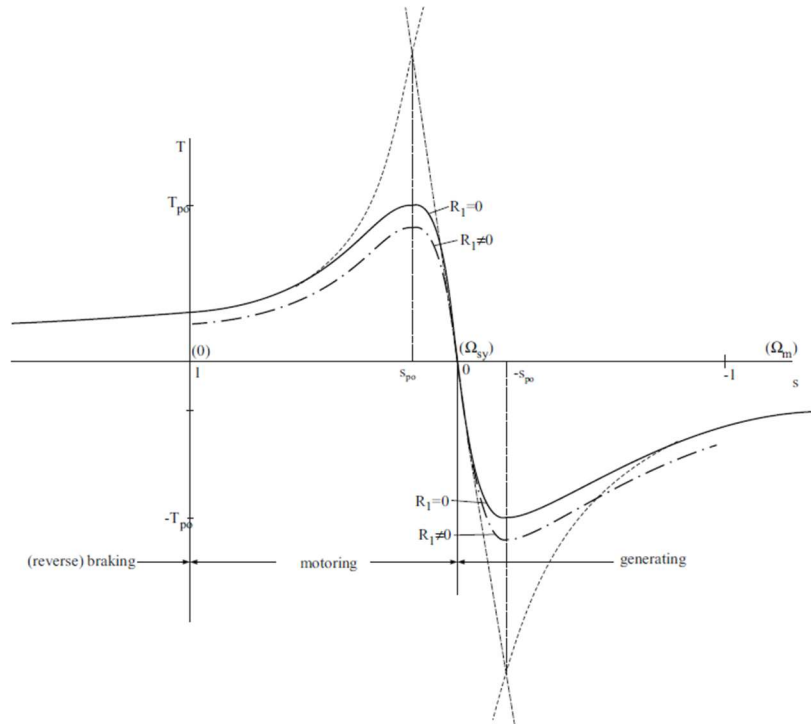


Figura 96 – Característica Binário-Escorregamento [22]

## ANEXO C Procedimento de avaliação de desempenho (grupos eletrobomba)

### 1. Objetivo

Este procedimento destina-se a sistematizar as rotinas de execução de ensaios de avaliação da eficiência em campo de grupos eletrobomba, pretendendo-se obter a curva da instalação e as seguintes curvas das bombas e dos grupos eletrobomba:  $H(Q)$ ,  $P(Q)$ ,  $\eta_{\text{BOMBA}}(Q)$ ,  $\eta_{\text{GRUPO}}(Q)$ ,  $\eta_{\text{MOTOR}}(Q)$ ,  $C_e(Q)$ , e  $AA16_{\text{ab}}(Q)$  devendo-se comparar com registos anteriores das mesmas curvas, para se poder avaliar a evolução.

A qualidade dos resultados dos ensaios de campo depende fortemente da exatidão dos instrumentos que se utilizam para medir as grandezas principais, suas condições de instalação e métodos de recolha e tratamento dessa informação.

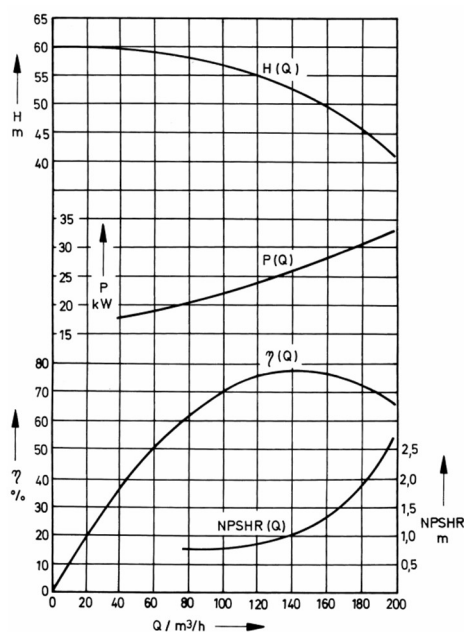


Figura 97 – Curvas tipo características de bombas centrífugas [46]

### 2. Definições metrológicas [47]

A utilização de instrumentos de medida na realização de ensaios, requer a estabilização de um conjunto de conceitos, essenciais para a interpretação das medidas obtidas. Também na avaliação da qualidade dos instrumentos, quer na sua utilização, quer na especificação para aquisição, é necessária uma adequada interpretação de conceitos metrológicos.

**Medição** - Processo de obtenção experimental dum ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza.

**Exatidão de medição** - Grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro dum mensurando.

**Erro de medição** - Diferença entre o valor medido dum grandeza e um valor de referência.

Incerteza de medição - Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.

**Calibração** - Operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir dum indicação.

**Rastreabilidade metrológica** - Propriedade dum resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através dum cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.

**Instrumento de medição** - Dispositivo utilizado para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares.

**Ajuste dum sistema de medição** - Conjunto de operações efetuadas num sistema de medição, de modo que ele forneça indicações prescritas correspondentes a determinados valores dum grandeza a ser medida.

**Ajuste de zero** - Ajuste dum sistema de medição de modo que o mesmo forneça uma indicação igual a zero correspondente a um valor igual a zero da grandeza a ser medida.

**Sensibilidade dum sistema de medição** - Quociente entre a variação dum indicação dum sistema de medição e a variação correspondente do valor da grandeza medida.

**Resolução** - Menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente.

**Classe de exatidão** - Classe de instrumentos de medição ou de sistemas de medição que satisfazem requisitos metrológicos estabelecidos, destinados a manter os erros de medição ou as incertezas de medição instrumentais dentro de limites especificados, sob condições de funcionamento especificadas.

**Erro máximo admissível** - Valor extremo do erro de medição, com respeito a um valor de referência conhecido, admitido por especificações ou regulamentos para uma dada medição, instrumento de medição ou sistema de medição.

### 3. Grandezas a medir

Neste ensaio devem ser medidas e registadas as seguintes grandezas:

OBRIGATÓRIAS	COMPLEMENTARES
i. Pressão na aspiração	i. Velocidade de rotação
ii. Pressão na compressão	ii. Pressão a jusante da válvula de regulação
iii. Diferença de cotas ao plano de referência	iii. Temperatura
iv. Caudal do grupo	iv. Vibração
v. Potência consumida pelo motor	

### 4. Instrumentos para a realização do ensaio

Neste ensaio devem ser utilizados os seguintes instrumentos:

OBRIGATÓRIAS	COMPLEMENTARES
i. Sensor de pressão - aspiração	i. Tacómetro
ii. Sensor de pressão - compressão	ii. Sensor de pressão – conduta;
iii. Medidor de distâncias/Fita métrica	iii. Câmara termográfica;
iv. Caudalímetro (alta exatidão)	iv. Equipamento de medição de vibrações;
v. Analisador de energia trifásico	
vi. Relógio	

### 5. Ações preparatórias

- a. Avaliar eventuais proteções que possam estar implementadas eletricamente, por forma a viabilizar um ensaio em modo manual. Proteções que é comum existirem e que pode ser necessário desligar temporariamente:
  - Subcaudal;
  - Pressão máxima;
  - Tempo até sinalização de válvula de compressão totalmente aberta.
- b. Avaliar a válvula onde se poderá implementar uma perda de carga adicional no sistema de elevação, com objetivo de simular alguns pontos de funcionamento do grupo eletrobomba. A perda de carga é obtida por regulação de uma válvula no circuito de compressão do grupo ou da estação elevatória. Quanto menor for o diâmetro nominal da válvula de regulação, maior será o rigor no ajuste da perda de carga.

## 6. Instalação de instrumentos

Procede-se à instalação de todos os instrumentos de medição para registos do ensaio, havendo que ter algumas precauções:

### *Analizador de energia*

- ⚠ Atenção à ligação dos acessórios de medição de tensão e de corrente. Deve-se proceder à instalação após se ter procedido à desenergização do painel e das áreas conexas, que possam ser suscetíveis de poderem ter contacto direto com o trabalhador que executa a instalação dos sensores. Esta ação requer a abertura e consignação do aparelho de corte (interruptor, disjuntor, seccionador, etc.) a montante da zona de trabalho, sendo necessária a verificação de ausência de tensão em todas as fases dos circuitos, na zona de instalação de sensores.
- ⚠ A instalação dos sensores de corrente e dos sensores de tensão, exigem que se avaliem em pormenor o esquema elétrico de alimentação ao motor, sabendo distinguir os diferentes tipo de arranque: direto, estrela-triângulo, arrancador suave ou variador de velocidade. Em função do tipo de arranque, do esquema de ligações que lhe esteja associado e da montagem dos circuitos elétricos na instalação, define-se onde é que se deverá proceder à instalação dos sensores de modo que se consiga medir, toda a potência que a rede elétrica entrega à máquina.
- ⚠ Considera-se necessário proceder à instalação de pinças de corrente e sensores de tensão nas fases: R, S e T. Respeitando o esquema de ligações do motor.
- ⚠ As pinças de corrente são sensores de fluxo magnético, portanto o sentido medido da corrente, depende do modo como os condutores são “abraçados”. Todas as fases devem ser “abraçadas” no mesmo sentido.
- ⚠ As pinças de tensão devem ser instaladas de modo coerente com as pinças de corrente.
- ⚠ Normalmente existe uma referência de cores de Castanho/Preto/Cinzento (Fases R/S/T) devendo o sensor de corrente Castanho ser instalado na corrente da fase R, conjuntamente com o sensor de tensão Castanho a ser montado na fase R.

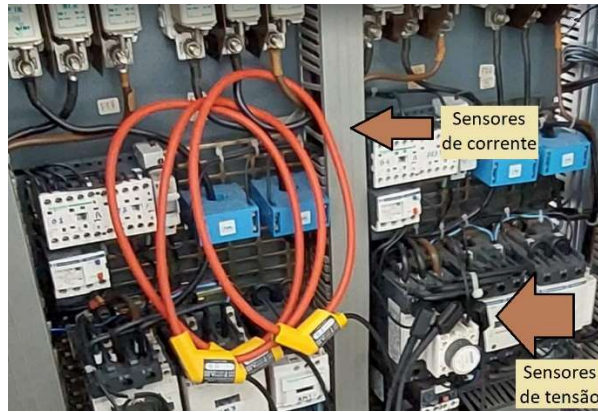


Figura 98 – Sensores de corrente e sensores de pressão do Fluke 438 II



Figura 99 – Sensores de corrente, sensores de pressão e analisador de energia Fluke 438 II

### **Sensores de pressão:**

- ⚠ Os sensores de pressão são instrumentos sensíveis, devendo haver muito cuidado no seu manuseamento, para se evitar um aumento significativo do erro nas suas medidas.
- ⚠ O circuito de instalação dos sensores de pressão deve ser provido de válvulas de agulha e válvulas de purga de ar.
- ⚠ O carregamento do circuito dos sensores de pressão deve ser feito de modo lento, garantindo a purga total de ar.

### **Medidor de caudal / caudalímetro:**

- ⚠ A instalação de um medidor de caudal portátil é muito exigente ao nível da estabilização hidráulica. Para circuitos hidráulicos com  $DN \geq 50$  mm, pretendendo-se medir com erro inferior a 1% da medida, é necessário assegurar:
  - Montante do local de instalação dos sensores ultra-sónicos:  $10 \cdot DN$  de troços retos.

- Jusante do local de instalação dos sensores ultra-sónicos: 5·DN de troços retos.
- $v \geq 0,5$  m/s.

⚠ Se existir medidor de caudal residente na instalação torna-se necessário avaliar a conformidade das condições de instalação, assim como as suas características essencialmente em função da velocidade de escoamento do fluido. Para velocidades abaixo dos 0,5 m/s o erro deste tipo de medidores cresce gradualmente à medida que a velocidade se reduz. Estas velocidades devem ser sinalizadas em termos de medidas, para lembrar a menor exatidão dos pontos obtidos a partir destas medidas.

## 7. Validação grosseira das medidas de instrumentos

A colocação em serviço de qualquer instrumento exige que se faça uma verificação do resultado da medição, tendo em conta a ordem de grandeza das medidas expectáveis a obter.

### *Analizador de energia*

Deve ser verificado:

- i. Diagrama temporal
  - a. Amplitude das tensões simples e das compostas (230 V AC  $\pm 10$  % e 400 V AC  $\pm 10$  %);
  - b. Amplitude de correntes (em função da carga aplicada);
- ii. Diagrama vetorial
  - a. Amplitude de tensões;
  - b. Amplitude de correntes;
  - c. Atraso das correntes face às tensões;
- iii. Tabela de valores eficazes
  - a. Verificar coerência de potências fase a fase.

### *Sensores de pressão*

A medida do sensor de pressão de aspiração deve ser confrontada com o nível do reservatório de aspiração quando o grupo estiver parado e após o arranque, sabendo-se que a pressão dinâmica deve descer um pouco relativamente à estática;

A medida do sensor de pressão da compressão deve ser confrontada com a diferença de cotas entre reservatórios com o grupo eletrobomba parado. Após arranque do grupo deve-se avaliar o aumento da pressão face às perdas de carga da conduta de compressão.

### ***Medidor de caudal***

No medidor de caudal é muito importante avaliar-se o ponto de caudal 0 m<sup>3</sup>/h (nulo). É importante avaliar o estado dos órgãos hidráulicos, caso seja necessário devem efetuar-se avaliações de ruído nas válvulas, para se determinar a efetiva ausência de caudal. Após arranque do grupo deve-se confrontar o caudal medido com o ponto de funcionamento da bomba para as pressões medidas. A parametrização do medidor de caudal influencia as leituras pelo que, os filtros que possam existir devem ser inibidos para se poder ler diretamente os valores instantâneos obtidos a partir da medição. Caso seja necessário ativar o filtro de valores médios, é importante que as leituras respeitem essa mesma temporização, ou seja, se por exemplo a leitura atual representar o valor médio dos últimos 10s, após a estabilização do sistema num determinado ponto de funcionamento, deveremos esperar no mínimo 10s para podermos fazer uma leitura representativa desse ponto de funcionamento.

## **8. Desenvolvimento do ensaio**

- i. Na estação elevatória onde decorrerá o ensaio, todos os grupos elevatórios pertencentes à mesma zona altimétrica de elevação deverão estar parados, sem possibilidade de arrancar.
- ii. Se tiverem estado a trabalhar grupos pertencentes à mesma zona altimétrica do grupo a ensaiar, deve-se aguardar pela estabilização hidráulica do sistema elevatório.
- iii. Com todos os grupos elevatório do sistema parados e com o sistema estabilizado deve-se:
  - a. Verificar o valor eficaz da tensão de alimentação  $380 \text{ V AC} \leq U_c \leq 420 \text{ V AC}$ ;
  - b. Verificar o valor da pressão de aspiração e da pressão de compressão, em função dos valores estáticos do sistema.
- iv. Deve-se arrancar com o grupo para o ponto de caudal máximo, ou seja, válvula de regulação 100% aberta.
- v. Aguardar a estabilização das grandezas hidráulicas: caudal elevado e pressão de compressão.
- vi. Fazer recolha simultânea de todos os valores dos instrumentos;
- vii. Repetir os passos vi. e vii. regulando previamente a válvula visando obter um caudal aproximadamente igual a 90 %  $Q_n$ , 80 %  $Q_n$ , 70 %  $Q_n$ , 60 %  $Q_n$ , 50 %  $Q_n$ , 25%  $Q_n$  e 0 %  $Q_n$ ;

Nota: O ponto de 0 %  $Q_n$  é muito importante de se executar uma vez que representa a altura manométrica máxima que a bomba está capaz de fazer, contudo é preciso ter

muita sensibilidade para não se deixar a bomba a trabalhar muito tempo neste regime, porque há parcela de energia que está a ser transferida para o líquido “aprisionado” na bomba, que estará em aumento de temperatura contínuo, podendo causar danos em todos os componente da bomba, principalmente no empanque.

## 9. Esquema tipo da montagem

Na Figura 100 e na Figura 101 apresentam-se os esquemas hidráulicos e elétricos das montagens que é necessário executar para se fazerem as medições para avaliação de desempenho.

Hidráulico

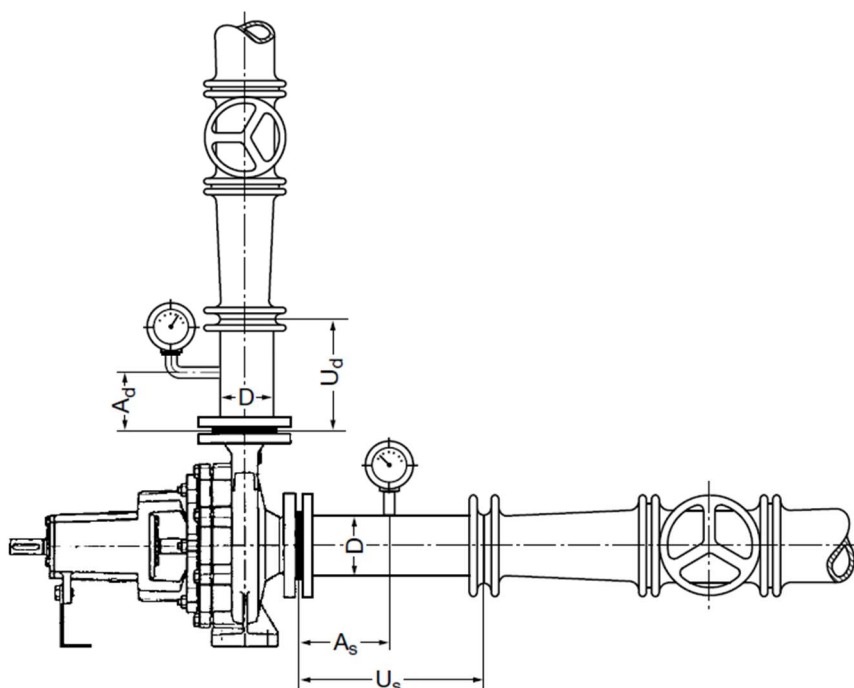
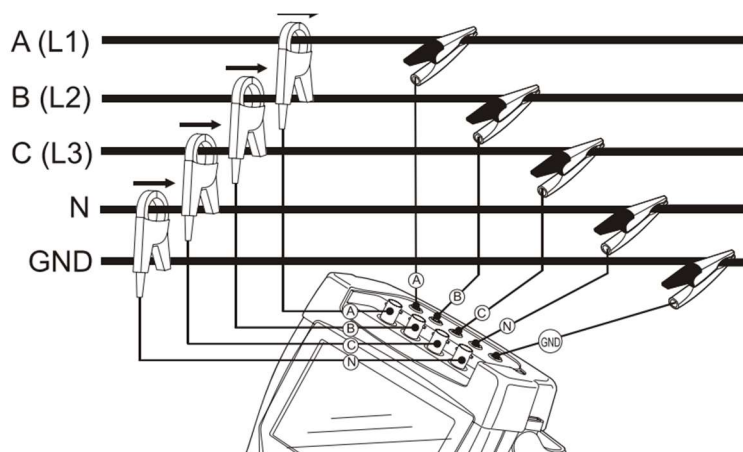


Figura 100 – Localizações de derivações para instalação de sensores de pressão [46]

Elétrico



Para calcular a potência hidráulica recorre-se ao teorema de Bernoulli para líquidos perfeitos. Sabendo que a energia mecânica total por unidade de peso líquido é constante ao longo de cada trajetória e que a potência do escoamento é proporcional ao peso volúmico, ao caudal e à altura, obtém-se o seguinte sistema de equações:

$$\left\{ \begin{array}{l} H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \\ P_{escoamento} = \gamma Q H_{total} \\ H_{total} = \end{array} \right.$$

$$E = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = Cte, \text{ fluido Newtoniano em regime estacionário}$$

Considerando-se a situação em que entre as duas secções em avaliação existe uma bomba a introduzir energia no sistema, obtém-se:

$$\left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right)_{aspiração} + P_{bomba} = \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right)_{compressão} \quad < = >$$

$$P_{bomba} = \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right)_{compressão} - \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right)_{aspiração}$$

O ensaio de avaliação de desempenho visa avaliar um grupo electrobomba, tendo como referência o desempenho em fábrica e devendo comparar-se com todos os ensaios de campo anteriormente realizados.

A realização destes ensaios deve permitir o registo de variáveis para cálculo e elaboração das seguintes curvas:

- Curvas da bomba
  - Caudal Vs Altura de elevação da bomba;
  - Caudal Vs Potência (fornecida à bomba);
  - Caudal Vs Eficiência (da bomba, do motor e do grupo eletrobomba);
- Curva da Instalação
  - Caudal Vs Altura;
- Curvas “Regulador”
  - Consumo específico;

○ AA16<sub>ab</sub>.

Estes ensaios devem ser vistos como uma ferramenta adicional para avaliação da condição de todos ativos que têm intervenção direta nos ensaios. É possível avaliar-se circuitos hidráulicos, válvulas, juntas de acoplamento, juntas de desmontagem, equipamentos elétricos de suporte ao arranque das máquinas, proteções hidráulicas, proteções elétricas e até mesmo a avaliação de transitórios quer elétricos quer hidráulicos.

Lista de equipamentos utilizados no âmbito deste trabalho:

- Analisador de energia elétrica  
Fluke 438-II com sensores amperimétricos i430-Flexi-TF-II  
Montagem a 400V com ligação em triângulo
- Medidores de caudal do tipo eletromagnético com sensor primário - ABB Watermaster (FEV/FEW)
- Sensores de pressão BD Sensors

## ANEXO D Controlo de condição

### Vibrometria

Para controlo de condição baseado em análise de vibrações, foi utilizado o instrumento SKF QuickCollect Sensor CMDT 391. Conforme se apresenta na Figura 102 é possível medir velocidades até 55 mm/s RMS e um espectro de 10 Hz a 1 kHz. Na medição da aceleração envelope SKF faz a avaliação até 20 gE pico a pico com uma largura de banda de 2 kHz.

Sensor specifications	
<b>Environmental, regulatory and physical</b>	
Operating temperature range	-20 to +60 °C (-5 to +140 °F)
Storage temperature range	-20 to +45 °C (-5 to +115 °F) for less than one month -20 to +35 °C (-5 to +95 °F) for less than six months The above temperature/time limits are to avoid excessive self-discharge of the battery.
Charging temperature, range (sensor/charger)	0 to 40 °C (32 to 105 °F)
Humidity	95% non-condensing
Altitude	Up to 2 000 m (6 560 ft)
Drop test	1.8 m (6 ft) in accordance with MIL-STD-810G
Sensor IP rating	IP65 (Dust and water ingress protection testing standard.)
Radio approvals	Europe (CE), USA (FCC), Canada (IC)
CE Mark	CE-approved
Dimensions	45 x 45 x 135 mm (1.8 x 1.8 x 5.3 in.)
Mass	200 g (7 oz)
<b>Power</b>	
Sensor power source	Rechargeable lithium battery, 3.7V DC, 0.14 Ah
Battery lifetime	A full working day under normal usage reducing to half a working day when an external sensor is being used.
Charger	Input 100 to 240 V AC, 0.4 A, 47 to 63 Hz
<b>3-in-1 measurements and analysis</b>	
Overall velocity	10 Hz to 1 kHz, up to 55 mm/s, RMS, Resolution: 400 lines
Bearing condition	SKF Enveloped acceleration, gE Band 3, 1.4 Hz to 2 000 Hz, up to 20 gE true Peak-to-Peak, Resolution: 800 lines
Temperature	Built in (IR) sensor, capable of measuring outside operating temperature range and up to 100 °C for short periods.

Figura 102 – Avaliação de velocidade na APP que fica disponível por comunicação bluetooth

A comunicação é feita exclusivamente por Bluetooth com visualização instantânea das medidas na APP no telemóvel com possibilidade de fazer registos espectrais com exportação de ficheiros de dados em formato csv.



Figura 103 – SKF Quick Collect CMDT 391

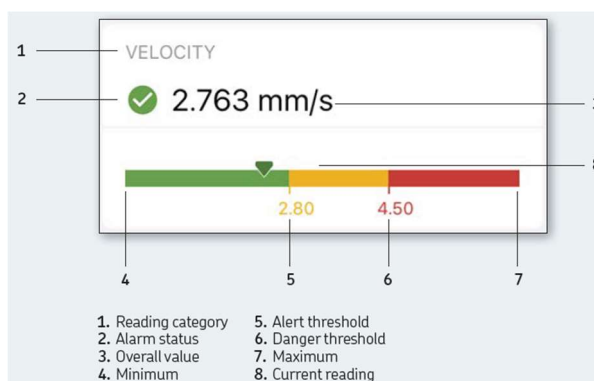


Figura 104 – Avaliação de velocidade na APP que fica disponível por comunicação bluetooth

A informação de vibração destina-se ao diagnóstico de:

- Velocidade de vibração: Desequilíbrios, desalinhamentos ou folgas (avaliam-se os valores RMS e no caso de se diagnosticar algum tipo de avaria, consulta-se a informação espectral para auxiliar no diagnóstico da origem da avaria)
- Aceleração: Avarias em rolamentos, caixas de engrenagens, presença de cavitação e presença de sólidos no fluido (avaliam-se os valores globais e complementarmente analisam-se os espectros para se diagnosticar a origem do problema identificado)

## Termografia

No âmbito deste trabalho foram realizados controlos de condição com base na termografia. Na Figura 105 apresentam-se as características do instrumento utilizado nas termografias.



Figura 105 – Descritivo da câmara termográfica utilizada

Na Figura 106 apresenta-se resumidamente as instruções de funcionamento gerais para utilização da câmara termográfica.

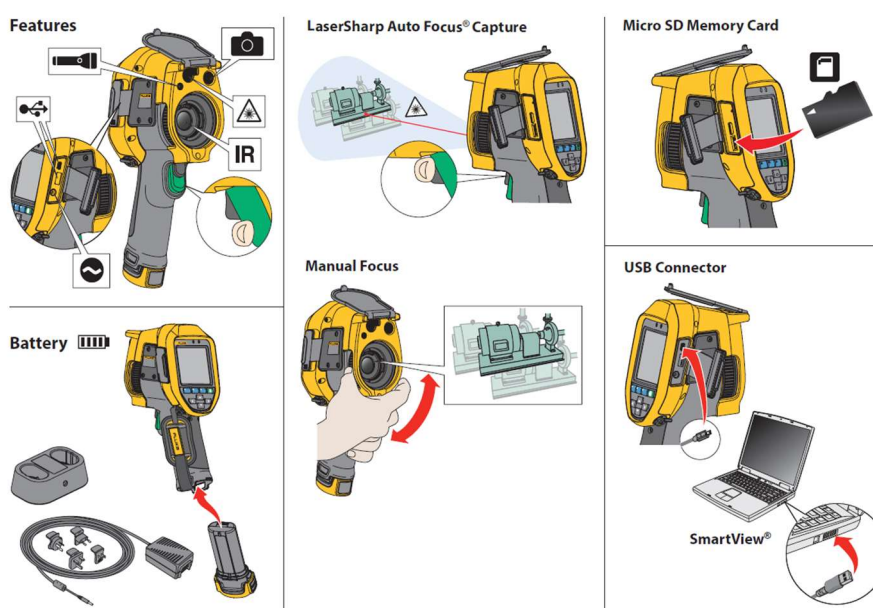


Figura 106 – Manual de instruções Fluke Ti300+ [49]

O software utilizado para manipulação das imagens e realização dos relatórios de suporte foi o Fluke Connect que é disponibilizado pela Fluke.

Do ponto de vista de avaliação térmica é importante que todos os pontos do grupo eletrobomba onde a temperatura pode determinar a sua condição de funcionamento, sejam avaliados, como sejam:

***Bomba***

- i. Caixa rolamento do lado do oposto
- ii. Caixa de rolamento do lado do ataque
- iii. Caixa do empanque, veio e vedantes

***Motor***

- iv. Caixa rolamento do lado do oposto
- v. Carcaça/estator/enrolamentos
- vi. Cabos de alimentação
- vii. Caixa de terminais e ligações
- viii. Caixa de rolamento do lado do ataque

Na utilização deste instrumento uma premissa base é a focagem manual que é obrigatória em todas as medições. O escalonamento da paleta de cores, apresentação da escala e colocação de uma mira com a localização do ponto de maior e menor temperatura da imagem, ajudam muito a interpretação.

## ANEXO E Avaliação hidráulica dos sistemas elevatórios

### EE CURVACEIRAS – RESERVATÓRIO DE SOUDOS

A estação elevatória de Curvaceiras situa-se perto de Paialvo (Figura 107), elevando água diretamente para três reservatórios: Soudos, Paialvo e Lamarosa (Tabela 33). Na linha de adução de Soudos existem várias entregas de percurso, sendo que este sistema do Médio Tejo - Norte, prolonga-se até às povoações de Fátima e de Ourém.

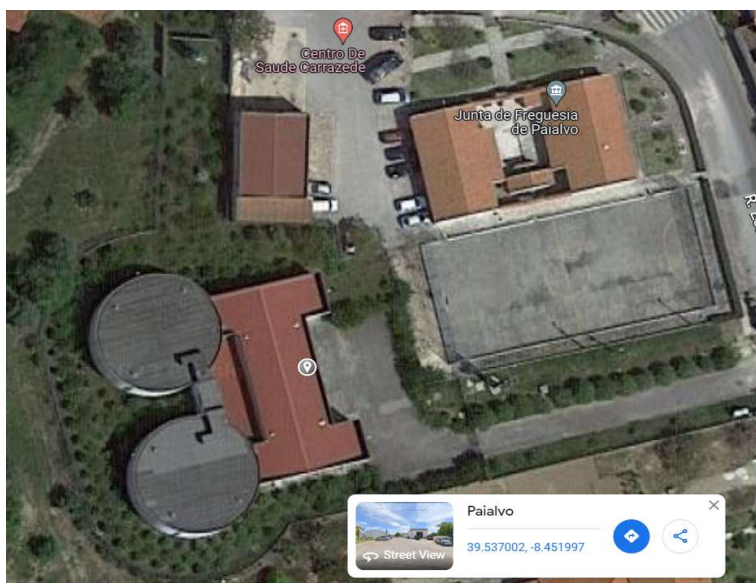


Figura 107 – Imagem satélite Google da EE de Curvaceiras

Tabela 33 – Informação geral da estação elevatória de Curvaceiras

<b>Sistema</b>	<b>Castelo do Bode</b>
<b>Sub-Sistema</b>	<b>Médio Tejo</b>
<b>Instalação</b>	Estação Elevatória de Curvaceiras
<b>Coordenadas</b>	39.536982
	-8.452059
<b>Constituição</b>	3 Zonas de elevação 4 Grupos Electrobomba Destino de elevação - Res. Soudos 2 Grupos Electrobomba Destino de elevação - Res. Lamarosa 2 Grupos Electrobomba Destino de elevação - Res. Paialvo
<b>Entrada em Serviço</b>	1991 (2002 aumento de capacidade)

## Estação elevatória de Curvaceiras – relatórios de ensaios em fábrica

Apresenta-se de seguida alguma informação dos resultados dos ensaios em fábrica no ano de 2002. A informação relevante foi introduzida nas folhas de cálculo, para comparação com os resultados obtidos no âmbito do presente trabalho (Figura 108, Figura 109 e Figura 110).



EFACEC Bombas Hidráulicas e Ventiladores, S.A.

### GARANTIA DA QUALIDADE

### QUALITY ASSURANCE

IP014/1

Pág: 1/1

### ENSAIO DE PERFORMANCE / PERFORMANCE TESTS

### CERTIFICADO / CERTIFICATE

Nº 0218389

Cliente/ <i>Customer</i>	<u>VASCO PESSOA</u>	Bomba/ <i>Pump</i>	<u>CJG 125-315</u>
Encomenda/ <i>p.order</i>	<u>141116</u>	Nº	<u>022843003</u>
Item/ <i>Customer item</i>		Seg. Normal/ <i>According to</i>	<i>stds</i>
		O.F./ <i>Manufact.nr.</i>	<u>12843</u>

MOTOR DE ENSAIO/ <i>TEST MOTOR</i>					Condições de funcionamento/ <i>Operating conditions</i>				
					min <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	m	kW	%
Marca/ <i>Make</i>	<u>EFACEC</u>	Tipo/ <i>Type</i>	<u>BF5/7 200L64</u>			209	29		
Nr.	<u>0250011904</u>	min <sup>-1</sup>	<u>1465</u>	Cos.φ	<u>0.85</u>				
A	<u>56</u>	V	<u>380</u>	kW	<u>30</u>	Norma de ensaio/ <i>Test stds</i> <u>DIN 1944/III</u>			

Figura 108 – Certificado dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Curvaceiras

MOTOR DE ENSAIO/TEST MOTOR					Condições de funcionamento/Operating conditions					
					min <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	m	kW	%	
Marca/Make	EFACEC		Tipo/Type	BF5/7 200L64			209	29		
Nr. 0250011904	min <sup>-1</sup>	1465	Cos.φ	0.85						
A	56	V	380	kW	30	Norma de ensaio/Test stds DIN 1944/III				
Corpo/Casing	FºFº		Impulsor/Impeller	BRONZE		Aberto/Open				
Empanque/Seal	MECÂNICO		φ (mm)	301		Fechado/Closed			X	

Velocidade/Speed of rotation (min <sup>-1</sup> )	1492	1487	1480	1479	1476
Caudal/Flow (m <sup>3</sup> /h)	0	120	209	240	300
Altura manométrica de aspiração/Suction head (m)	0,7	0,9	1,4	1,7	2,2
Altura manométrica de descarga/Discharge head (m)	29,0	29,5	27	24,5	18
Dif.Energia cinética/Kinetics energy (m)	0	0,2	0,6	0,8	1,2
Altura manométrica total/Total head (m)	29,7	30,6	29,0	26,9	21,4
Potência abs. pelo motor/Motor absorbed power (kW)	11,5	18,5	23,7	25,2	28,4
Potência abs. pela bomba/Pump absorbed power (kW)	9,8	16,6	21,4	22,9	25,7
Rendimento/Efficiency (%)	0	60,3	77,2	76,9	68,1

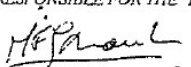
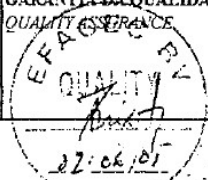
RESPONSÁVEL PELO ENSAIO / THE RESPONSIBLE FOR THE TEST	CLIENTE / CUSTOMER	GARANTIA DA QUALIDADE / QUALITY ASSURANCE
 02/06/05	/ /	 / /

Figura 109 – Resultados dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Curvaceiras



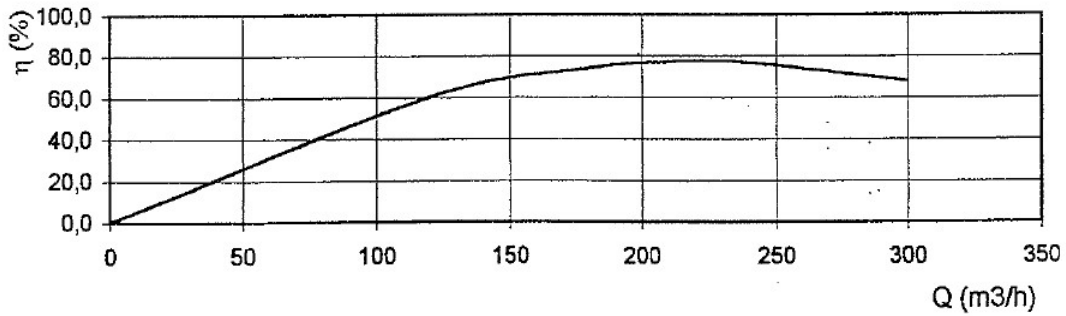
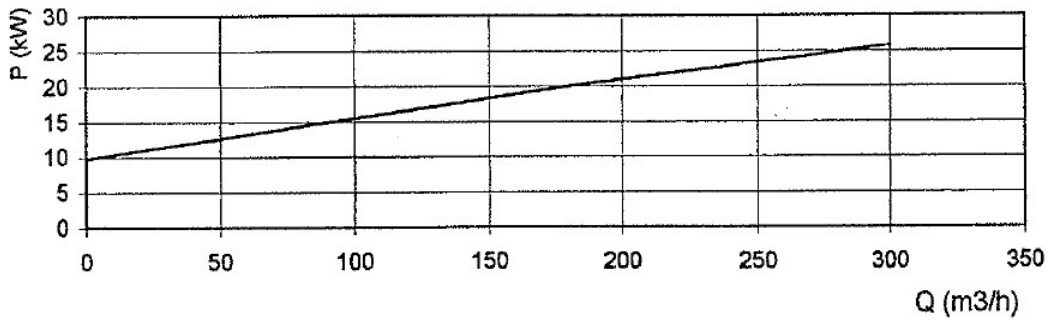
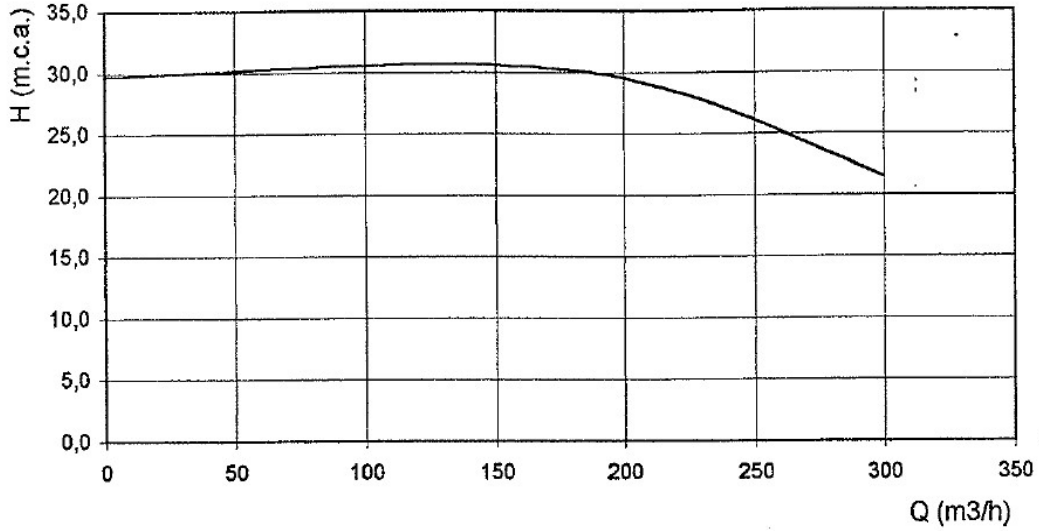
EFACEC Bombas Hidráulicas e Ventiladores, S.A.

GARANTIA DA QUALIDADE

Curvas de ensaio

IP097/0

Pág: 1/1



Ensaio nº 0218389

Bomba tipo: CJG 125-315



R.P.M. 1492

RESPONSÁVEL PELO ENSAIO/THE RESPONSIBLE FOR THE TEST

*[Signature]* 02/06/05

Figura 110 – Curvas com os resultados dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Curvaceiras

## Estação elevatória de Curvaceiras – chapas de características de bomba e motor

A título exemplificativo, são apresentadas algumas fotografias da estação elevatória. A Figura 111 é a de uma chapa característica de uma bomba EFACEC CJG 125-315, a Figura 112 é a chapa de características de um motor WEG W22 SUPER PREMIUM de 30 kW e a Figura 113 é na nave da estação elevatória num dia de ensaios de avaliação que foram realizados.



Figura 111 – Chapa de características da bomba do grupo 2 de elevação para Soudos da EE Curvaceiras

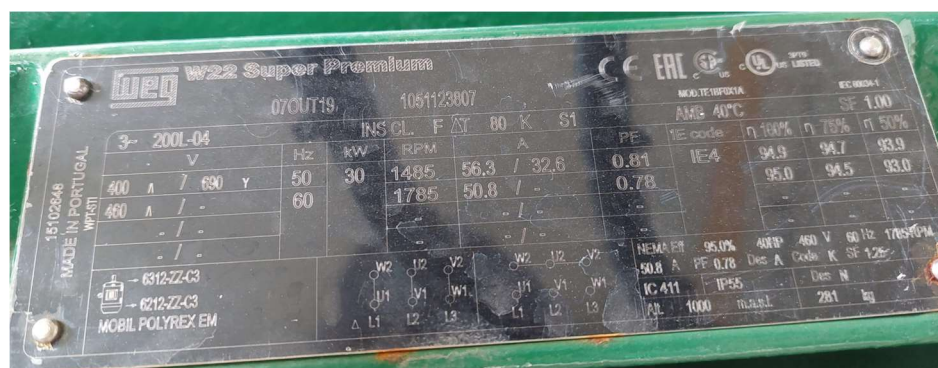


Figura 112 – EE Curvaceiras: Chapa de características de motor elétrico



Figura 113 – EE Curvaceiras – Grupos 2, 3 e 4

No reservatório de Curvaceiras a entrada de água é regulada por uma válvula de borboleta motorizada. O comando da válvula é feito, normalmente, pelo autómato que dá ordem de abertura quando o nível atinge os 3,17 m (Figura 114), dando ordem de fecho quando o reservatório atinge os 4,27 m (Figura 115). O nível máximo deste reservatório é 5,5 m.

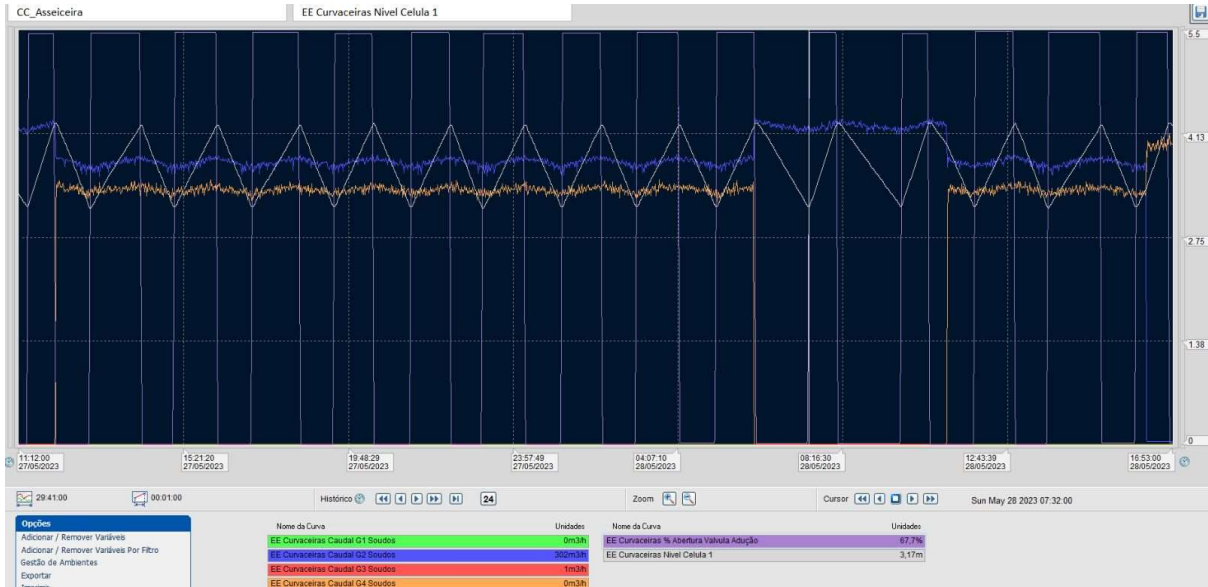


Figura 114 – Avaliação de variáveis de operação EE Curvaceiras (valores de nível mínimo do reservatório)



Figura 115 – Avaliação de variáveis de operação EE Curvaceiras (valores de nível máximo do reservatório)

Este modo de exploração da cota do reservatório de Curvaceiras, não permite aproveitar todo o potencial de energia disponível na aspiração, quer por a abertura para enchimento ser feita a um nível muito reduzido, quer pela cota máxima que se deixa atingir que está 123 cm abaixo do limite Máximo. Implementando um controlo do caudal de entrada em ordem ao nível, com objetivo de manter o nível constante nos 5,5 m, seria possível ganhar, em média face à situação

atual, cerca de 1,78 m (Nível máximo – Nível médio( $\frac{3,17+4,27}{2} = 3,72 \text{ m}$ )). Em sistemas elevatórios com reduzida altura de elevação, como é o caso desta elevação da EE Curvaceiras, estima-se que a alteração de exploração possa reduzir de 6 a 8% a altura de elevação dos grupos elevatórios.

O reservatório aguarda uma intervenção ao nível de construção civil para reparar as fissuras existente na transição da laje de cobertura para o betão armado das paredes da célula do reservatório - Figura 116, razão pela qual não se implementou no imediato o modo d egestão do nível do reservatório.



Figura 116 – Reservatório de Curvaceiras com fissura visível em todo o perímetro

## EE MADEIRAS – RESERVATÓRIO ALTO DE DOM LUÍS

A estação elevatória de Madeiras situa-se perto da vila de Constância (Figura 117), elevando água para o reservatório do Alto de Dom Luís que distribui água graviticamente para um polígono militar e para a povoação de Limeiras.

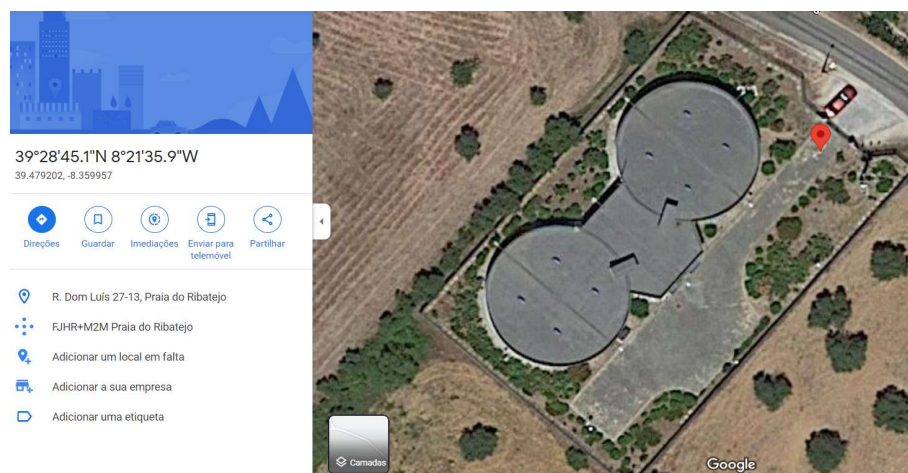


Figura 117 – Imagem satélite Google da EE de Madeiras

Esta estação elevatória tem dois grupos eletrobomba (Tabela 34) que elevam água para o mesmo destino, num sistema 1+1, ou seja, pode trabalhar um grupo e o outro grupo é reserva.

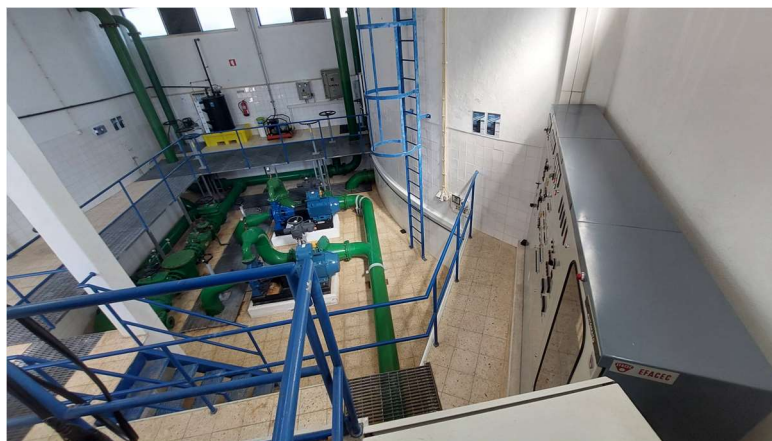
*Tabela 34 – Informação geral da estação elevatória de Madeiras*

<b>Sistema</b>	<b>Castelo do Bode</b>
<b>Sub-Sistema</b>	<b>Médio Tejo</b>
<b>Instalação</b>	Estação Elevatória de Madeiras
<b>Coordenadas</b>	39°28'45.1"N
	8°21'35.9"W
	39.479202
	-8.359957
<b>Constituição</b>	1 Zona de elevação
	2 Grupos Eletrobomba Destino de elevação - Res. Alto Dom Luís
<b>Entrada em Serviço</b>	1994

A estação elevatória foi construída em 1994 com bombas RITZ e motores EFACEC com as características apresentadas na Figura 120, Figura 121 e no Gráfico - 3.



*Figura 118 – Sala dos grupos elevatórios da estação elevatória de Madeiras (abril de 2016)*



*Figura 119 – Reservatório e estação elevatória de Madeiras*

## Estação elevatória de Madeiras – relatórios de ensaios em fábrica

Na Tabela 35 apresentam-se os resultados do ensaio em fábrica de um dos grupos eletrobomba da EE de Madeiras.

*Tabela 35 – Resultados dos ensaios em fábrica do grupo eletrobomba*

Q [m <sup>3</sup> /h]	H <sub>m</sub> [m.c.a.]	P [kW]	NPSHR [m.c.a.]	η [%]
0	55,5	13,5	1,6	0
30	55,5	16,5	1,5	22,5
60	55,5	20	1,5	43
90	55	22,5	1,6	59
120	54,5	26	1,9	67,5
150	53	29,5	2,4	72,5
187,5	50,6	34	3,25	76
210	47,8	37	4	75
240	43,5	40,5	5	71,5

Apresenta-se de seguida alguma informação dos relatórios dos ensaios em fábrica no ano de 1994. A informação relevante foi introduzida nas folhas de cálculo, para comparação com os resultados obtidos no âmbito do presente trabalho (Figura 120, Figura 121 e Gráfico - 58).



## 1.1. - EQUIPAMENTO ELECTROMECHANICO

### 1.1.1. - BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Grupos electrobomba marca RITZ, ou equivalente, fabricação alemã, nas quantidades e com as características técnicas principais como a seguir se indica.

#### Central de Madeiras - EE1

Duas (2) electrobombas RITZ tipo com velocidade de 1470 RPM com os seguintes pontos de funcionamento :

##### - Ponto 1

Caudal	: 52,1 l/s
HMT	: 50,6 m c.a.
Pa	: 34,1kW
Eta	: 75,7 %
NPSH	: 3,3 m

##### - Ponto 2

Caudal	: 58,3 l/s
HMT	: 47,7 m c.a.
Pa	: 36 kW
Eta	: 75,5 %
NPSH	: 3,3 m

##### - Motor eléctrico assíncrono rotor c.c.: EFACEC

Tipo	: BF3.225M44
Potência	: 45 kW
Corrente nominal	: 86 A
Alimentação	: 380 V - 50 Hz
Velocidade síncrona	: 1500 RPM

##### - Acoplamento : Directo.

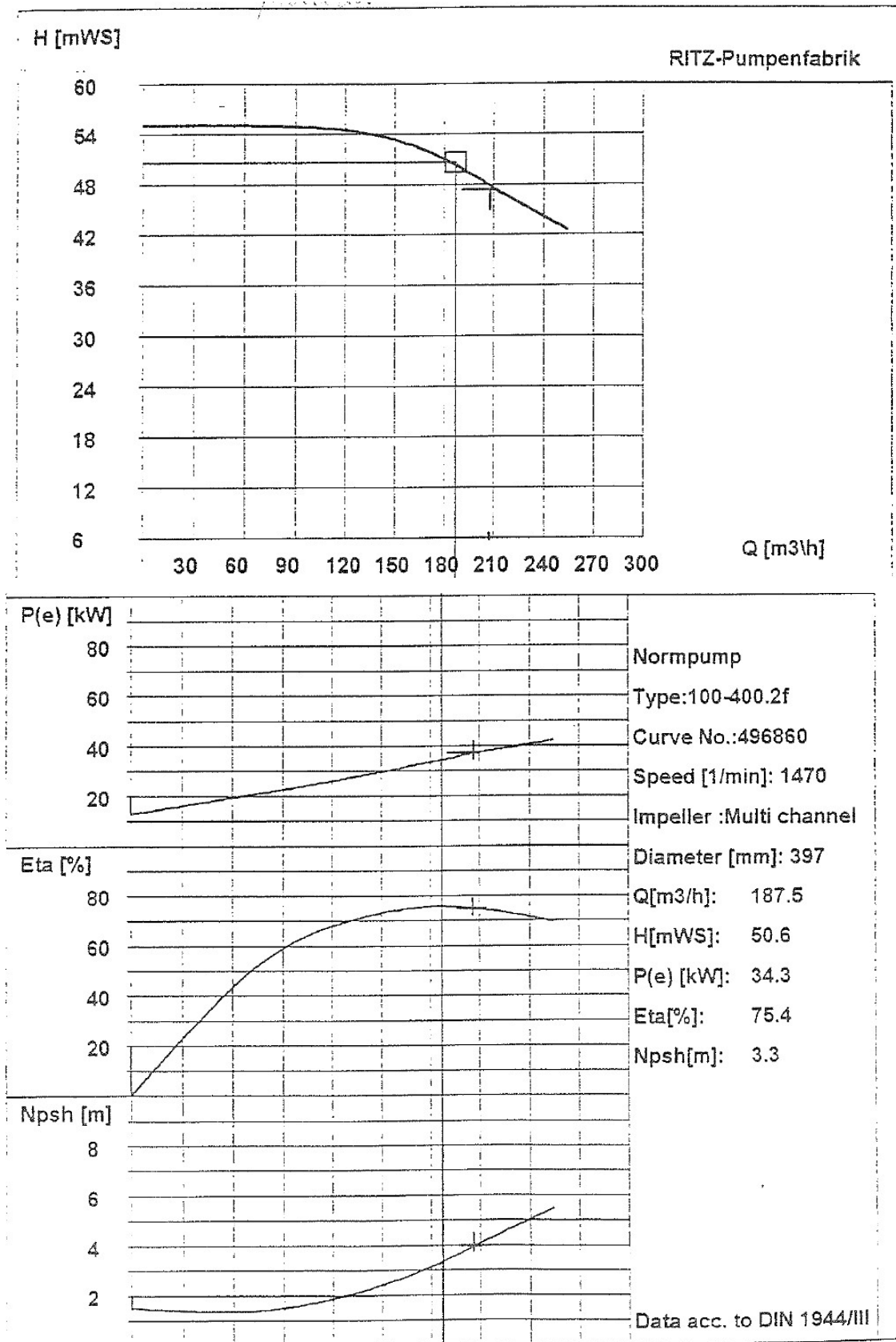


Figura 121 – Curvas com os resultados dos ensaios em fábrica das bombas da EE de Madeiras

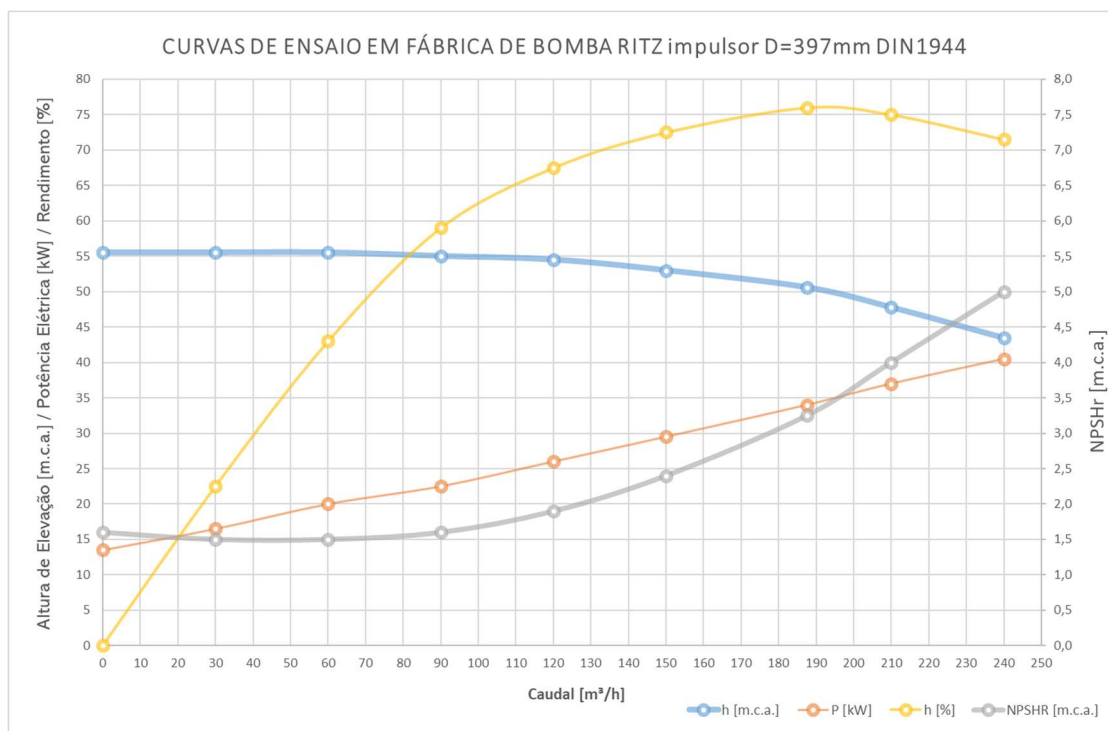


Gráfico - 58 – Transposição das curvas de ensaio em fábrica para comparação com resultados dos ensaios em 2023

Em 2016 ocorreu uma avaria no estator do motor do grupo 1, tendo o motor sido substituído por um motor WEG de classe de eficiência IE3 (Figura 122).



Figura 122 – Sala dos grupos elevatórios da estação elevatória de Madeiras (julho de 2016)

Com quase 30 anos de serviço, os grupos eletrobomba foram avaliados em abril de 2023, resultando dessa avaliação uma prioridade de intervenção no grupo 2 tendo-se procedido à substituição do motor EFACEC BF5 por um motor WEG W22 IE4 de classe de eficiência. Na bomba foi realizada uma intervenção que incluiu a execução de anéis de desgaste, substituição do empanque mecânico e revestimento da voluta com Eurokote Thixo 468 (Figura 123).



*Figura 123 – Sala dos grupos elevatórios da estação elevatória de Madeiras (agosto de 2023)*

No reservatório de Madeiras a entrada de água é controlada por uma válvula altimétrica. Atendendo a que o reservatório é graviticamente abastecido pelos reservatórios da ETA da Asseiceira, de capacidade incomensuravelmente superior, existe potencial para se poder implementar um controlo que vise a permanente maximização do nível do reservatório de Madeiras. A avaliação do indicador de consumo específico indica que, ainda que haja alguma perda de rendimento da bomba para caudais superiores, existe potencial de ganho energético por m<sup>3</sup> elevado.

No dia 24MAI2023 procedeu-se a uma intervenção do circuito de controlo da válvula altimétrica que abastece o reservatório de Madeiras. Esta regulação teve como objetivo uma abertura mais rápida e progressiva da válvula altimétrica (comando hidráulico) de entrada no reservatório, para evitar a descida de nível do reservatório.

Após a parametrização constatou-se que o nível do reservatório passou a oscilar entre 3,18 m e 2,99 m. Anteriormente o reservatório baixava dos 2,5 m nem sempre conseguindo recuperar os 3,15 m (Figura 124 e Figura 125) antes de um dos grupos eletrobomba arrancar novamente.

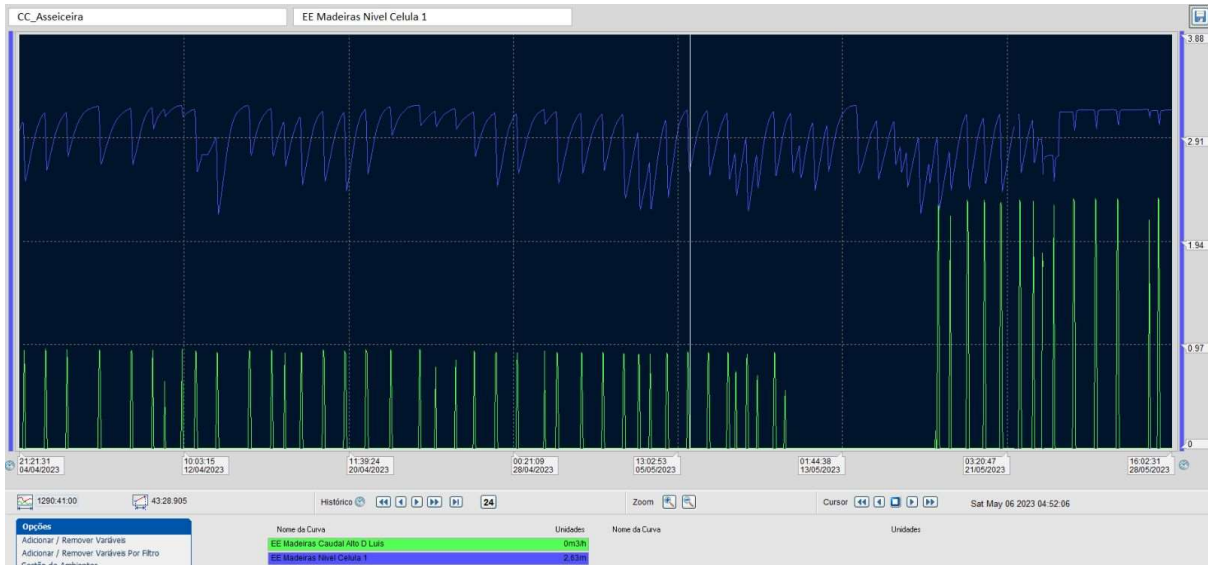


Figura 124 – Informação de histórico retirada do SCADA (1290h variação de nível)

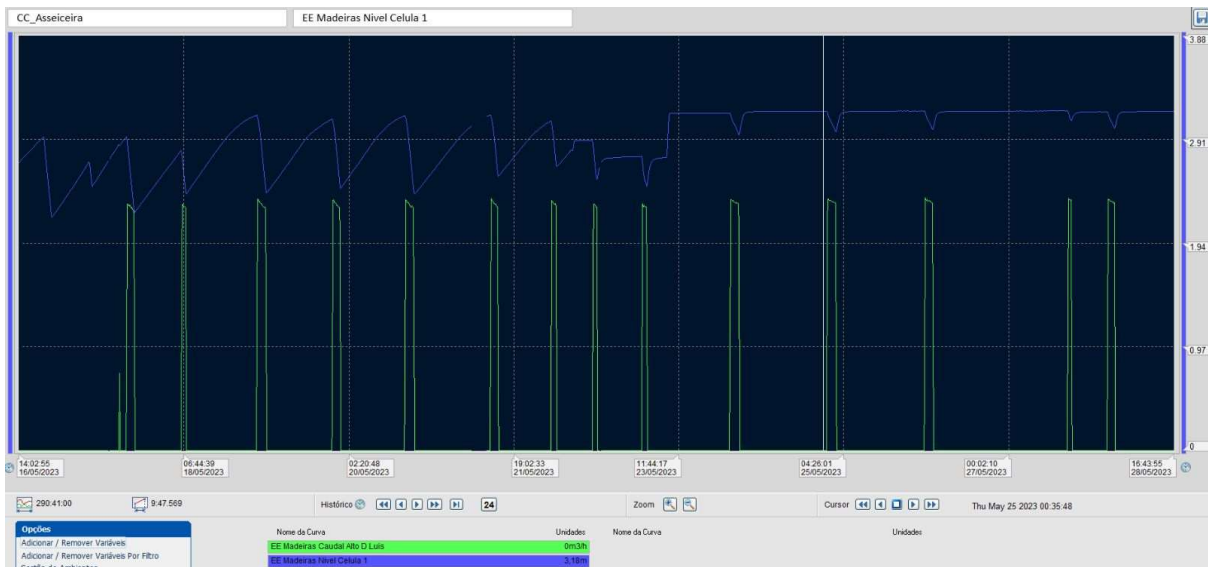


Figura 125 – Informação de histórico retirada do SCADA (290h melhoria na variação de nível)

No dia 22 de agosto voltou-se a fazer uma avaliação no reservatório de Madeiras uma vez que as telas finais da obra indicam que o reservatório tem nível máximo 3,7 m e ainda poderia haver margem de ganho na gestão do nível do reservatório. Para que não houvesse qualquer dúvida, fez-se uma leitura no local dos níveis das duas celas que estavam nos 3,36 m - Figura 126.



Figura 126 – Indicadores de nível e de pressão (Res. Madeiras 22AGO2023 10h36m)

Atendendo a que as duas células dos reservatórios estão em equilíbrio hidrostático por estarem interligadas na saída, fez-se uma avaliação do nível real dentro de uma de células - Figura 127 avaliando em paralelo os elementos técnicos existentes Figura 128. A conclusão é de que há margem para poder ganhar mais alguns centímetros, evitando assim o desperdício de energia.



Figura 127 – Interior do Res. de Madeiras (22AGO2023 10 h 39 m)

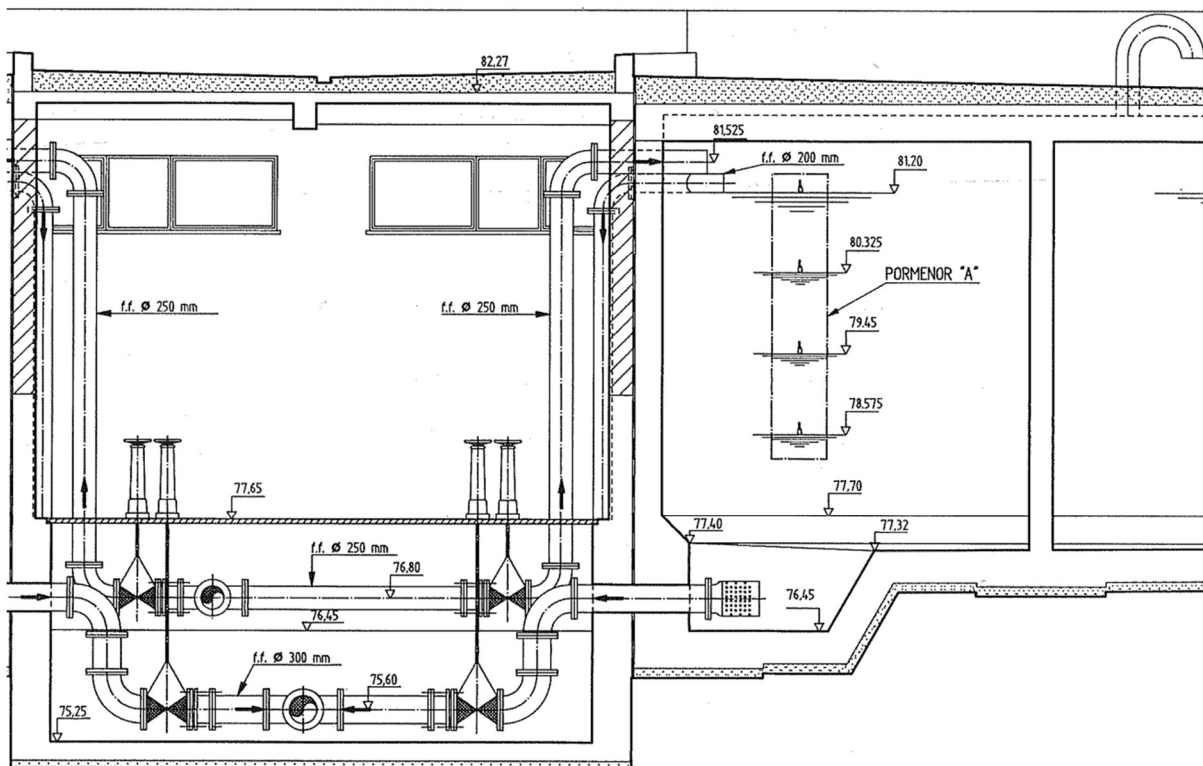


Figura 128 – Desenho em corte do Res. de Madeiras e circuitos hidráulicos associados [50]

Fazendo novamente uma regulação do piloto hidráulico da válvula foi possível obter o seguinte controlo de nível no reservatório de Madeiras.

### EE MADEIRAS – Intervenções de manutenção corretiva

Após a abertura da bomba do grupo 2 de Madeiras, constatando-se que a não havia justificação para a aparente diminuição da capacidade de elevação, alvitrou-se que a justificação para este problema poderia estar na submedição de caudal. Validando-se esta hipótese, agregaram-se mais algumas intervenções que já haviam sido igualmente diagnosticadas:

- Substituição do medidor de caudal eletromagnético da EE de Madeiras;
- Alteração da parametrização do piloto hidráulico da válvula de entrada;
- Substituição da sonda de nível da célula 1 do reservatório de Madeiras.

É possível verificar na Figura 129 (gráfico do SCADA) o momento em que cada alteração foi implementada refletindo logo de seguida o impacto dessas correções.

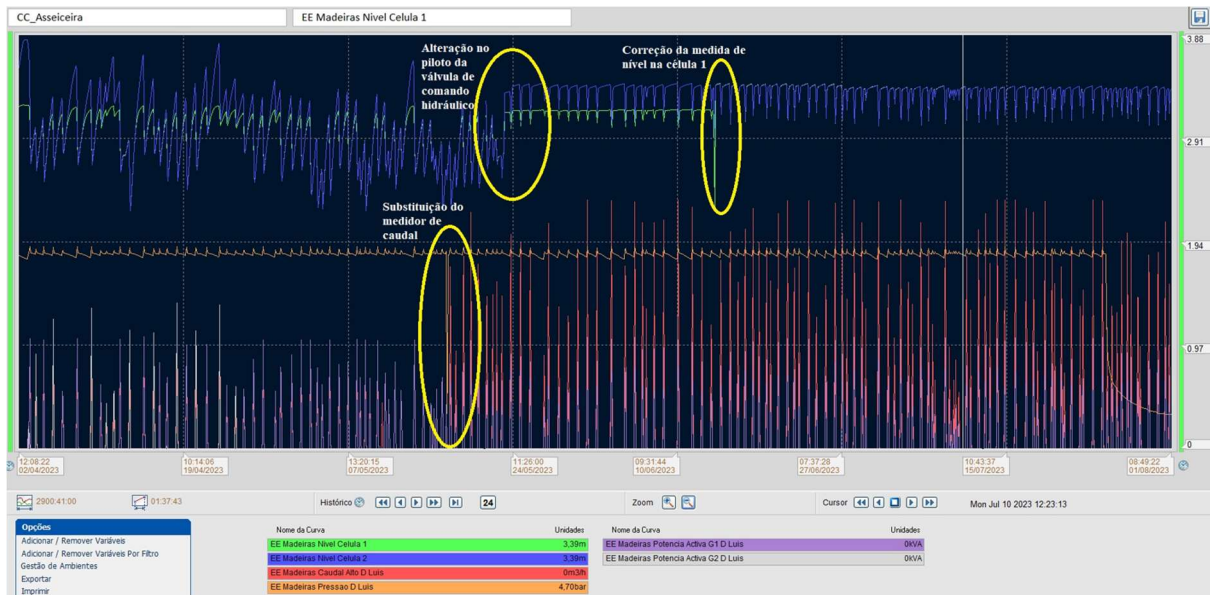


Figura 129 – Resultado das manutenções corretivas

## ANEXO F EE Curv. Gr. 2 – Resumo dos trabalhos de inspeção

- i. INSP 01 – AVALIAÇÃO DE SISTEMA ELEVATÓRIO
- ii. INSP 02-1 – AVALIAÇÃO VIBROMÉTRICA
- iii. INSP 02-2 – AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA
- iv. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- v. INSP 03-2 – COMPARATIVO HISTÓRICO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- vi. INSP 04 – AVALIAÇÃO ABERTURA DE BOMBA
- vii. INSP 05 – AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE BOMBAS
- viii. INSP 06 – REGISTO DA MONTAGEM DA BOMBA
- ix. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- x. INSP 03-2 – COMPARATIVO HISTÓRICO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- xi. INSP 02-1 – AVALIAÇÃO VIBROMÉTRICA
- xii. INSP 02-2 – AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA

Data: seg 03/04/2023 Responsável: Miguel Fernandes

Tipo de Montagem: HORIZONTAL

Fluido: Água Potável (5°C ≤ T ≤ 25°C)

## 1. Caracterização da Instalação

1.1 Sistema	Castelo do Bode		1.9 Altitude [m]	100	1.18 Manobrabilidade de órgãos	100%	
1.2 Subsistema	Médio Tejo Norte		1.10 Alim. Energia Elétrica	BTE	1.19 Ventilação forçada	Inexistente	
1.3 Designação	EE Curvaceiras		1.11 Σ P instalada (F <sub>motriz</sub> ) [kW]	157	1.20 Climatização	Inexistente	
1.4 Coordenadas	N 39°32'13.15"	W 8°27'7.06"	1.12 Nº Grupos Electrobomba	8	1.21 Meio de elevação de cargas	Sim	
	39.536996	-8.451952	1.13 Nº Patamares Altimétricos	3	1.22 Volume [m³]	3150	
1.5 Dimensão da Nave (CxLxH) [m]	30	x 15	x 7	1.14 Σ P disponível [kW]	108,5	1.23 Paredes [m²]	630
1.6 Condutibilidade paredes [W/m²°C]			-	1.15 Σ P térmica [kW]	5,4	1.24 Cobertura [m²]	450
1.7 Condutibilidade cobert. [W/m²°C]			-	1.16 Zona climática de Inverno	I2 (RCCTE)		
1.8 Área de vãos envidraçados [m²]			10	1.17 Zona climática de Verão	V3 (RCCTE)		

Observações: Esta estação elevatória é constituída por 4 grupos de elevação para o reservatório de Soudos que funcionam num sistema 3+1, 2 grupos de elevação para o reservatório de Paialvo que funcionam num sistema 1+1 e 2 grupos de elevação para o reservatório da Lamarosa que também funcionam num sistema 1+1. A estação elevatória tem uma implantação parcialmente enterrada que permite uma melhoria significativa da temperatura de trabalho. Atendendo à zona climática onde se insere a instalação, é aconselhável a monitorização de temperatura, como forma de acompanhamento e tomada de decisão na melhoria das condições de humidade e temperatura na instalação.

## 2. Caracterização montagem mecânica

2.1 Válvula seccionamento aspiração	Sim	2.13 Válvula retenção	Sim	2.22 Parafusos		2.29 P1 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	0,821
2.2 Tipo de válvula	Cunha	2.14 Tipo	Deslocamento axial	2.23 Categoria	8.8	2.30 P1 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,183
2.3 DN	300	2.4 PN	10	2.24 Tamanho	-	2.31 P2 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	0,943
2.5 Válvula seccionamento compressão	Sim	2.15 Medidor de caudal	Sim	2.25 Material	Aço	2.32 P2 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,358
2.6 Tipo de válvula	Cunha	2.16 Tipo medidor	Electromagnético	2.26 Revestimento	Galvan.	2.33 P3 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	1,179
2.7 DN	250	2.17 ΔP do medidor de caudal [mbar]	<250	2.27 Porca	Sim	2.34 P3 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,698
2.9 Válvula motorizada compressão	Sim	2.18 DN compressão [mm]	250	2.28 Ventusa aspiraç.	Não	2.35 Δ(D/d) [mm]	2,00
2.10 Tipo de válvula	Borboleta	2.19 DN aspiração [mm]	300	2.29 Ventusa comp.	Sim		
2.11 DN	250	2.20 Cone de redução (Dxd)	300 x 150	2.30 Junta de acoplamento	Borracha com alma de aço		
2.12 PN	10	2.21 Tipo de cone	Excêntrico				

Observações: A montagem mecânica apresenta um desenho compatível com o bom funcionamento da instalação. A válvula de compressão motorizada, que auxilia o arranque do grupo assegurando a progressiva transposição de carga, é de borboleta do tipo "wafer" e está a uma distância reduzida do cone de redução para o troço de medição de caudal. Cones excêntricos na aspiração das bombas, válvulas de isolamento para atividades de manutenção e velocidades inferiores a 2m/s na aspiração e a 3m/s na compressão, são boas práticas que contribuem para evitar a degradação prematura e consequente indisponibilidade do grupo. A ventusa na compressão é igualmente muito importante para ser possível purgar todo o ar entre as válvulas de isolamento, quando é necessário proceder à descarga desse circuito hidráulico. A válvula de retenção é de disco axial, sendo esta opção muito importante no transitório hidráulico por o fecho ser mais rápido do que noutro tipo de

## 3. Caracterização da montagem do grupo (maciço e chassis)

3.1 Material do maciço	Betão armado	3.5 Fixação do chassis	Chumb./Pernos	3.8 Nº de parafusos	-
3.2 Dimensão do maciço (CxLxH) [mm]	1445 x 660 x 285	3.6 Nº Pernes	4	3.9 Tamanho dos parafusos	-
3.3 Material do chassis	Aço	3.7 Tamanho Pernes	20	3.10 Nº de Porcas	4
3.4 Dimensão do chassis (CxLxH) [m]	1440 x 600 x 110			3.11 Tamanho das porcas	36

Observações: Chassis fixo com chumbadores ao betão armado, sem indícios visuais de degradação (sem fissuração nem oxidação). O chassis está fixo ao maciço não estando preenchido no seu interior.

## 4. Caracterização da bomba

4.1 Marca	Marca	4.11 N. Série	22843002	4.21 Modelo	CJG 125-315
4.2 Corpo	Ferro Fundido	4.12 Massa [kg]	-	4.22 Flange Aspiração	DIN 2543
4.3 Q <sub>nominal</sub> [m³/h]	209	4.13 P <sub>1</sub> [m.c.a.]	>11	4.23 DN [mm]	125
4.4 H <sub>nominal</sub> [m]	29	4.14 P <sub>2</sub> [m.c.a.]	>15	4.24 PN [bar]	16
4.5 D <sub>1</sub> [mm]	150	4.15 D <sub>1</sub> [mm]	300	4.25 Número de furos	8
4.6 D <sub>2</sub> [mm]	125	4.16 D <sub>2</sub> [mm]	250	4.26 D <sub>furos</sub> [mm]	18
4.7 A <sub>1</sub> [mm²]	17671	4.17 A <sub>1</sub> [mm²]	70686	4.27 L <sub>centro furação</sub> [mm]	210
				4.32 Flange compressão	DIN 2543
				4.33 DN [mm]	150
				4.34 PN [bar]	16
				4.35 Número de furos	8
				4.36 D <sub>furos</sub> [mm]	23
				4.37 L <sub>centro furação</sub> [mm]	285
				4.42 Empanque	Mecânico
				4.43 P1 [m³/h]	209
				4.44 P2 [m³/h]	240

4.8 $A_2$ [mm <sup>2</sup> ]	12272	4.18 $A_{2'}$ [mm <sup>2</sup> ]	49087	4.28 N [rpm]	1500	4.38 Rolamento ataque	3309 A/C3	4.45 P3 [m <sup>3</sup> /h]	
4.9 $v_1$ [m/s]	3,29	4.19 $v_{1'}$ [m/s]	0,82	4.29 Impulsor (tipo)	Fechado	4.39 Tipo	Esferas		300
4.10 $v_2$ [m/s]	4,73	4.20 $v_{2'}$ [m/s]	1,18	4.30 Impulsor (material)	Bronze	4.40 Rolamento oposto	2309NU		
				4.31 Impulsor D [mm]	301	4.41 Tipo	Rolos		

Observações

O caudal mínimo de funcionamento é 30% do  $Q_n$ , ou seja, 63 m<sup>3</sup>/h.  
 Corpo (Material): FF - (DIN GG-25) ou (EN GJL 250) ou (AISI A48-40 B)  
 O fabricante recomenda que a 1ª substituição de óleo ocorra durante as primeiras 200 h de funcionamento e as seguintes não deverão ultrapassar as 2000 h.  
 Lubrificante recomendado: Óleo classe ISO VG 46, com IV  $\geq$  105.

## 5. Caracterização hidráulica

5.1 $Q_{\text{máx}}$ esperado [m <sup>3</sup> /h]	627	5.9 $Q_{\text{operação P1}}$ [m <sup>3</sup> /h]	209	5.16 Tipo de Aspiração	Positiva
5.2 $Q_{\text{min}}$ esperado [m <sup>3</sup> /h]	300	5.10 $H_{\text{operação P1}}$ [m]	29	5.17 Sistema de Ferra	Não
5.3 $Q_{\text{ótimo}}$ [m <sup>3</sup> /h]	209	5.11 $Q_{\text{operação P2}}$ [m <sup>3</sup> /h]	240	5.18 Ventusa na aspiração	Não
5.4 $Q_{\text{máx}}$ admissível [m <sup>3</sup> /h]	-	5.12 $H_{\text{operação P2}}$ [m]	26,9	5.19 Ventusa na compressão	Sim
5.5 $Q_{\text{min}}$ admissível [m <sup>3</sup> /h]	-	5.13 $Q_{\text{operação P3}}$ [m <sup>3</sup> /h]	300		
5.6 $H_{\text{ótimo}}$ [m]	29	5.14 $H_{\text{operação P3}}$ [m]	21,4		
5.7 $H_{\text{projeto}}$ [m]	-	5.15 $P_c$ máx [bar]	2,89		

Observações

As operações de carga e descarga do circuito hidráulico da bomba são muito importantes, relevando-se a existência de uma ventusa no ponto mais alto, com possibilidade de ser seccionada e intervencionada, que possibilita a entrada de ar ou a retirada de ar em todo o circuito hidráulico.  
 Na aspiração não existem órgãos que possibilitem indevidamente a entrada de ar para o interior da conduta, que seria muito prejudicial para o funcionamento da bomba. Todos os três pontos de funcionamento adequam-se à curva característica da bomba.

## 6. Caracterização da conduta

6.1 Material	FFD	6.7 Nº descargas	7	6.9 Pto. Inicial N	39.537124°	W	-8.452129°
6.2 Extensão L [m]	3929	6.8 DN Descargas [mm]	100 (6)/150 (2)	6.10 Pto. Final N	39.550504°	W	-8.488043°
6.3 DN [mm]	450	6.8 Nº ventusas	6	6.11 Pto. Inicial - cota [m]	104	6.13 Pto. Final - cota [m]	121
6.4 Volume [m <sup>3</sup> ]	624,9	6.8 DN Ventusas [mm]	50	6.3 Interligações	Não	6.4 Nº Interligações	0
		6.6 Nº válvulas seccionamento	0	6.5 Entrada no reservatório	Por cima		

Observações

Esta conduta em 30 anos de serviço tem um histórico muito reduzido de avarias. Após o aumento de capacidade feito ao sistema em 2002, ficou com um caudal máximo de cerca de 630 m<sup>3</sup>/h, o que nesta conduta de DN450 resulta numa velocidade de 1,1 m/s, sendo assim um regime de exploração adequado.  
 Como não existem válvulas intermédias, a eventual necessidade de lavagem de conduta após rotura, requer o fecho das entradas no reservatório de Soudos e a execução de descargas a jusante do ponto da rotura até que a água clarifique e apresente uma taxa mínima de 0,6 ppp de cloro dissolvido.  
 O número de descargas e sua localização permite o rápido esvaziamento da conduta para execução de um trabalho de manutenção (2h para a situação de cada descarga poder tirar, em média, 40 m<sup>3</sup>/h). Também o número de ventusas, sua dispersão pela conduta e DN, permitem quer fazer a descarga

## 7. Caracterização do motor

7.1 Marca	WEG	7.20 $s$ [%]	1,00%	7.21 IP	55	7.28 Altitude máx [m]	1000
7.2 Modelo	W22 SUPER PREMIUM	7.10 Norma fabrico	IEC 60034-1	7.22 Classe/Regime de serviço	S1	7.29 IE	IE4
7.3 Nº série	1051123805	7.11 Tensão nominal [V]	400	7.23 Inércia rotor motor [kgm <sup>2</sup> ]	0,3979	7.30 Rendimento 1/4 [%]	-
7.4 Alimentação	Trifásico	7.12 Frequência [Hz]	50	7.24 Rolamento ataque	6312-ZZ-C3	7.31 Rendimento 2/4 [%]	93,9
7.5 Potência [kW]	30	7.13 Corrente nominal [A]	56,3	7.25 Rolamento oposto	6212-ZZ-C3	7.32 Rendimento 3/4 [%]	94,7
7.6 Nº Pólos	4	7.14 Fator de potência	0,81	7.26 Período de lubrificação [h]	-	7.33 Rendimento 4/4 [%]	94,9
7.7 Ano Fabrico	2019	7.15 Tipo montagem	B3T	7.27 Monitorização Temperat.	PTC	7.34 $T_{\text{máx}}$ serviço [°C]	155
7.8 Massa [kg]	281	7.16 Carcaça	200L	7.28 Resistência anti condensação	Não	7.35 $T_{\text{min}}$ serviço [°C]	
7.9 $I_a/I_n$	7,4	7.17 Classe isolamento	155 (F)	7.29 Bases p/ medição vibrações	Sim	7.36 Ruído [dB (A)]	63
7.19 N [rpm]	1485	7.18 ATEX	Não	7.30 Tipo de ventilação	IC411	7.37 Fabrico	PRT

Observações

Este motor é de alta eficiência apresentando rendimentos próximos de 95% quando em funcionamento num regime igual ou superior a 3/4 de carga. Tratando-se de um motor de 30 kW, considera-se uma excelente opção para a função pretendida.  
 Salienta que o fator de potência a 50% de carga é 0,6, a 75% da carga é 0,73 e a 100% da carga é 0,81. Este facto deve ser tido em conta na compensação de fator de potência da instalação, para que não haja lugar a uma perda económica por pagamento de energia reativa indutiva consumida em excesso (tan  $\varphi \geq 0,3$  é penalizada economicamente nos consumidores).  
 Este motor tem cerca de 30 000h de serviço.

## 8. Caracterização do arranque

8.1 Tipo de Arranque(elétrico)	Y-D	8.5 DN válvula [mm]	200
8.2 Modo de Arranque	Válvula fechada	8.6 Inércia rotor motor [kgm <sup>2</sup> ]	0,3979
8.3 $T_{\text{abertura válvula}}$ [s]	38	8.7 Inércia rotor bomba [kgm <sup>2</sup> ]	-
8.4 Tipo válvula	Borboleta		

Observações Existe coordenação entre o temporizador do contactor da passagem de estrela para triângulo e a ordem de abertura da válvula de compressão. Após o motor atingir a velocidade de rotação em vazio, a abertura da válvula proporciona uma transposição de carga para o motor. Não há sinais de desgaste evitável por falta de coordenação no arranque do grupo eletrobomba.

## 9. Caracterização das Proteções - Elétricas

9.1 Proteção	Disjuntor + Relé	9.4 Calibre [A]	150	9.7 Proteção térmica	Sim
9.2 Tipo	Indireta	9.5 Regulação [A]	56		
9.3 Relé	Sprecher CET 3	9.6 Capacidade de corte [kA]	100		

Observações Este motor está protegido por um relé Sprecher & Schuh CET 3 que assegura a proteção nos seguintes tipos de evento: sobrecarga térmica, perda de fase, defeito à terra, rotor bloqueado, incorreta sequência de fases e subcarga.  
O quadro elétrico da estação elevatória está em adequado estado de conservação, estando as sinalizações e os instrumentos de medida todos a funcionar de modo adequado.

## 10. Caracterização das Proteções - Hidráulicas

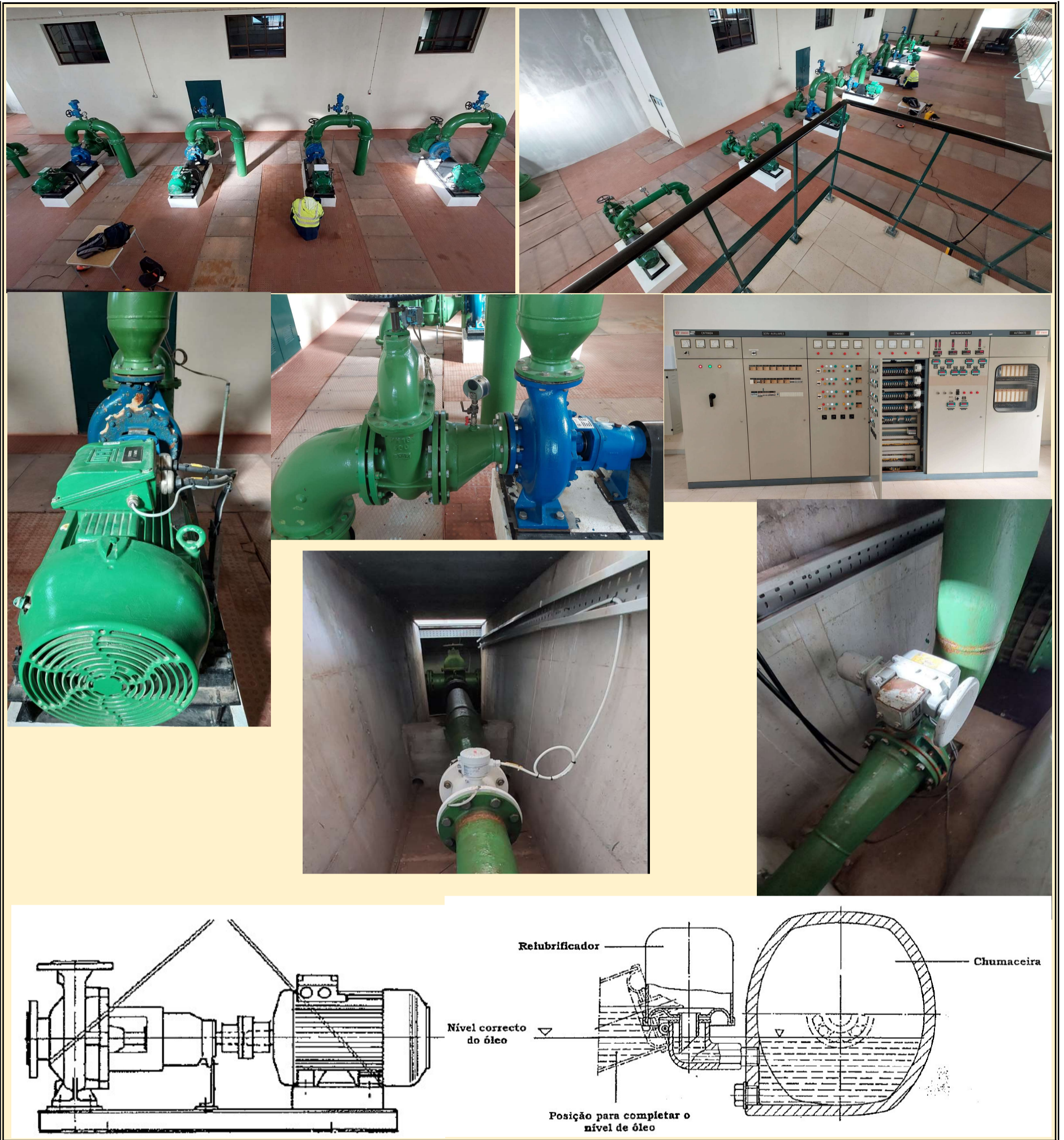
10.1 RAC	Sim	10.3 Sistema automático de enchimento	Sim	10.7 Pressão aspiração - subpressão	Sim, pressostato.
10.2 RAC [m³]	8	10.4 Monitorização de pressão	Sim	10.8 Pressão compressão - subpressão	Sim, pressostato.
		10.5 Monitorização de nível Ar/água	Sim	10.9 Pressão compressão - sobrepressão	Sim, pressostato.
		10.6 Seccionamento	Sim	10.10 Sensor válvula seccionamento aspiração - aberta	Sim
		10.7 Válvula de sobrepressão	Sim	10.11 Sensor válvula seccionamento compressão - aberta	Não
				10.12 Sensor válvula compressão - aberta	Sim

Observações As proteções de pressão estão implementadas com lógica cablada, a partir do contactos dos pressostatos, que estão inseridas diretamente no circuito de comando dos grupos electrobomba, tornando a proteção muito eficaz.  
Nesta instalação existe um Reservatório de Ar Comprimido (RAC) que atenua as ondas de pressão na conduta de compressão durante os transitórios hidráulicos mais severos como seja a situação de estarem três grupos eletrobomba em funcionamento e ocorra um corte intempestivo na rede de distribuição de energia elétrica. O volume deste reservatório, assim como a proporção de ar/água no seu interior, foram definidos no âmbito do projeto hidráulico da instalação.

## 11. Caracterização de condições de funcionamento

11.1 Nº máx arranques permitidos [/dia]	-	11.4 Ambiente	-	11.6 Potência ativa	30
11.2 Nº médio de arranques [/dia]	2	11.5 Sinalizações	-	11.7 Fator de serviço	1
11.3 Nº pontos de funcionamento	3			11.8 Analisador de energia	Não

Observações A estação elevatória possui uma sala de comando independente, onde estão instalados os quadros elétricos de potência e os quadros elétricos de comando, situação muito benéfica para a fiabilidade de toda a aparelhagem.  
O grupo eletrobomba tem um acoplamento com espessador para facilitar a intervenção na bomba sem que haja necessidade de mexer na posição do motor. Existem instalados conversores de potência ativa da Camile Bauer, com 30 anos de serviço, sendo recomendável a sua substituição por analisadores de energia. Na entrada da instalação, medindo toda a energia consumida, recomenda-se a instalação de um analisador de qualidade de energia, que permita o registo de perturbações provenientes da rede de distribuição de energia elétrica.



Data 12/abr/23 Responsável Miguel Fernandes

Estação Elevatória Curvaceiras Destino Elev. Res. Soudos Grupo 2

MOTOR Marca WEG Modelo W22 SUPER PREMIUM S/N 1051123805 P [kW] 30

BOMBA Marca EFACEC Modelo CJG 125-315 S/N 22843002  $Q_n$  [m<sup>3</sup>/h] 209  $H_n$  [m] 29

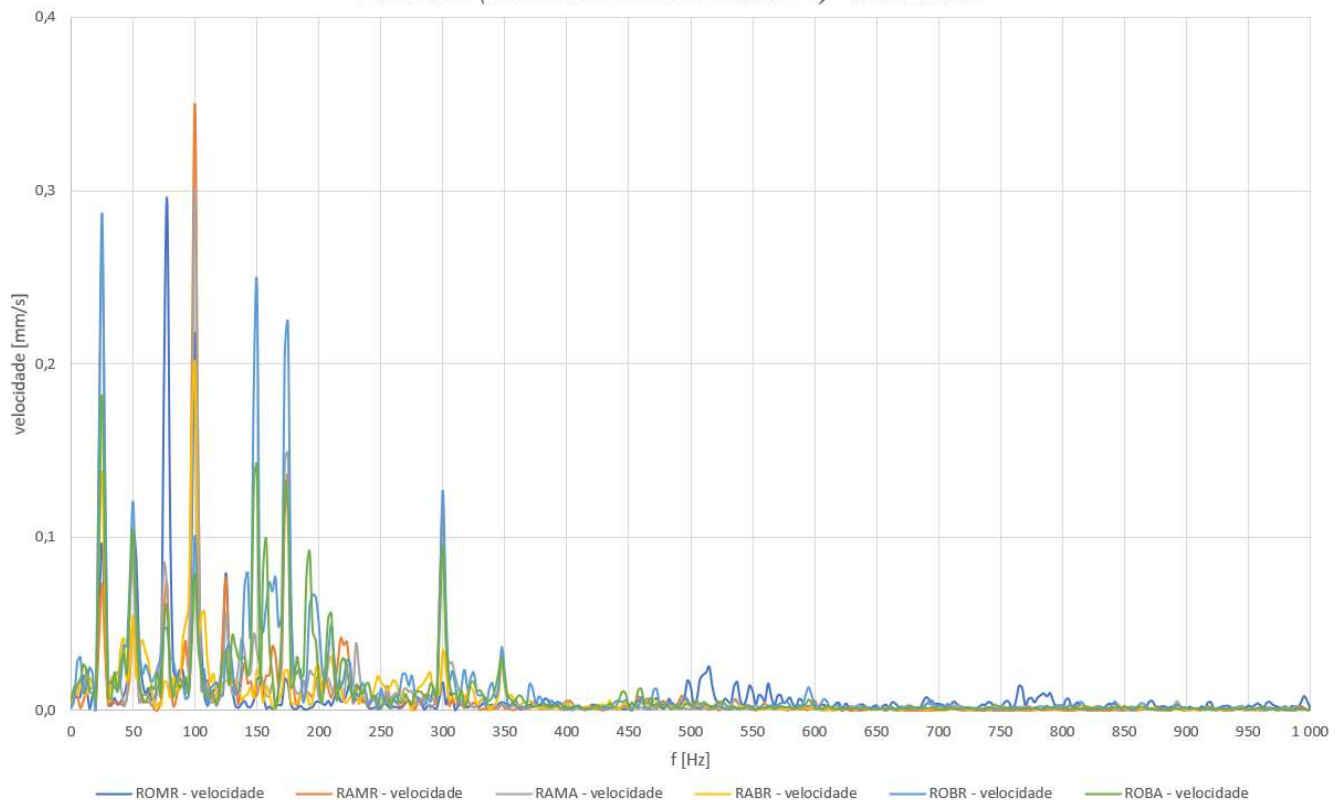
## 1. Velocidade de vibração

(ISO 10816-1) [mm/s]

RMS	ROMR		RAMR		RAMA		Limites			
	Valor	Unidade	Valor	Unidade	Valor	Unidade	0-2,3	2,3-4,5	4,5-7,1	≥7,1
	0,481	mm/s	0,051	mm/s	0,526	mm/s				
	0,393	mm/s	0,587	mm/s	0,459	mm/s	0-3,5	3,5-7,1	7,1-11	≥11

MOTOR WEG W22 S. PREM. SN 1051123805 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843002

Velocidade (EE CURVACEIRAS GRUPO 2) - 12ABR2023



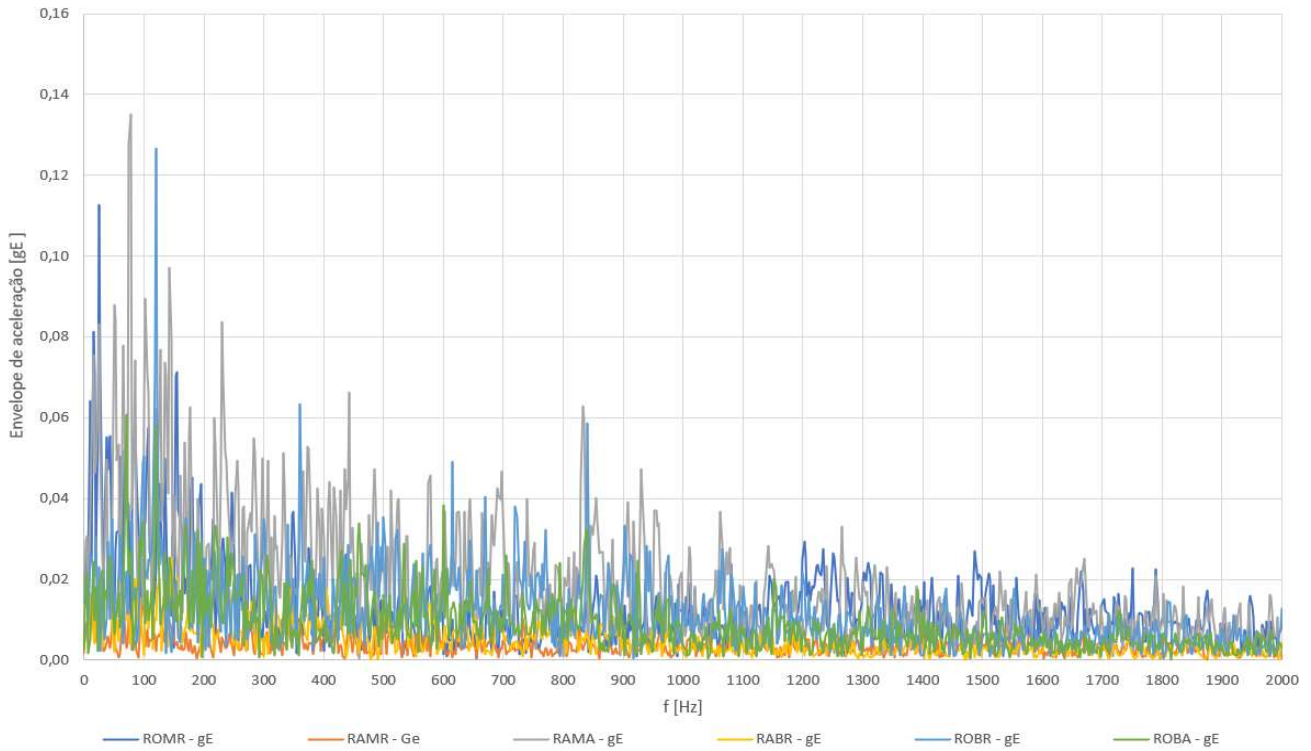
**Siglas:** ROMR - Rolamento oposto motor radial ; RAMR - Rolamento ataque motor radial ; RAMA ; Rolamento ataque motor axial ; RABR - Rolamento ataque bomba radial ; ROBR - Rolamento oposto bomba radial ; ROBA - Rolamento oposto bomba axial.

**Observações** As medidas na bomba foram efetuadas diretamente na caixa de rolamentos enquanto que no motor foram utilizadas as bases existentes para execução de medidas de vibração. As velocidades de vibração registadas tem valor de amplitude irrelevante em todo o espectro sob avaliação. Portanto ao nível de desequilíbrios, desalinhamentos ou folgas, não foram registados quaisquer sintomas que requeiram correção no âmbito da intervenção que será desenvolvida.

## 2. Envelope de aceleração

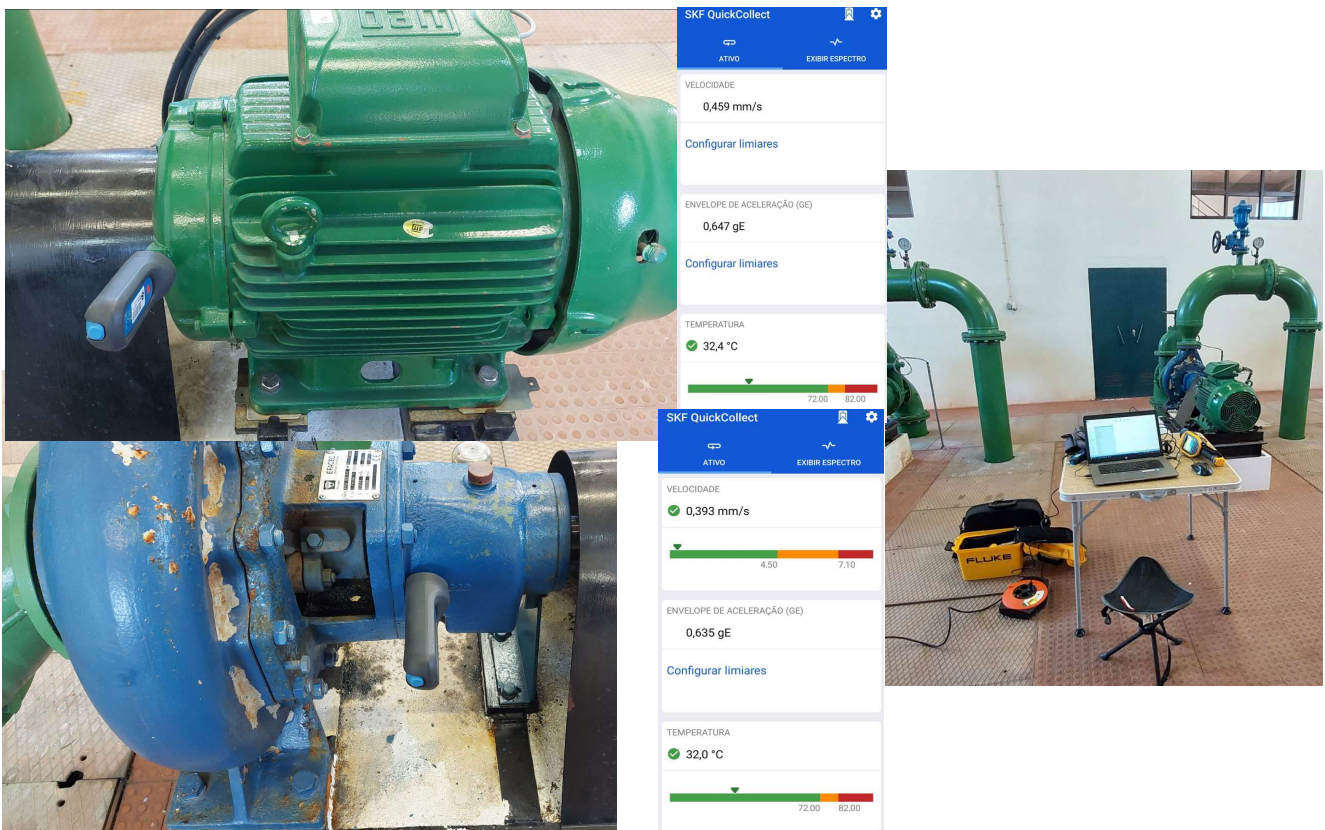
PICO A PICO	ROMR	1,364	gE	RAMR	0,315	gE	RAMA	2,704	gE	(SKF-Envelope de aceleração) [gE] 3000 rpm		
	ROBR	0,635	gE	RABR	0,889	gE	RABA	0,647	gE	<4	4-10	≥10

**MOTOR WEG W22 S. PREM. SN 1051123805 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843002**  
**Envelope de aceleração gE (EE CURVACEIRAS GRUPO 2) - 12ABR2023**



**Observações** A amplitude das acelerações são muito reduzidas em todo o espectro sob avaliação, revelando a inexistência de problemas ao nível de rolamentos.

## 3. Fotos do trabalho desenvolvido



**Data** 12/abr/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Curvaceiras **Destino Elev.** Res. Soudos **Grupo** 2

**MOTOR** **Marca** WEG **Modelo** W22 SUPER PREMIUM **S/N** 1051123805 **P [kW]** 30

**BOMBA** **Marca** EFACEC **Modelo** CJG 125-315 **S/N** 22843002 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 209  
**H<sub>n</sub> [m]** 29

**Hora de inspeção** 15h - 16h30 **Estabilização térmica** 2h **Regime de carga** 2/3 da carga nominal

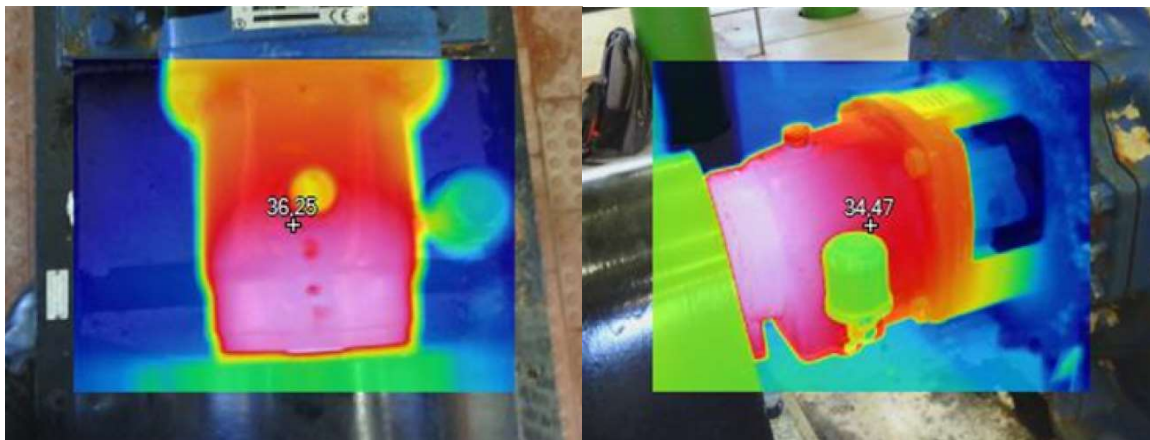
## 1. Bomba - Caixa de rolamentos

1.1 RA 37 °C SKF 3309 A/C3 ISO VG46 IV≥105 2000h

1.2 ROA 35 °C SKF 23NU09 ISO VG46 IV≥105 2000h

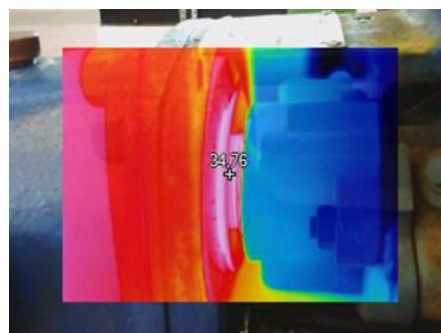
<70°C 70-90°C >90°C

<70°C 70-90°C >90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento quer para os rolamentos, quer para o lubrificante.

## 2. Bomba - empanque



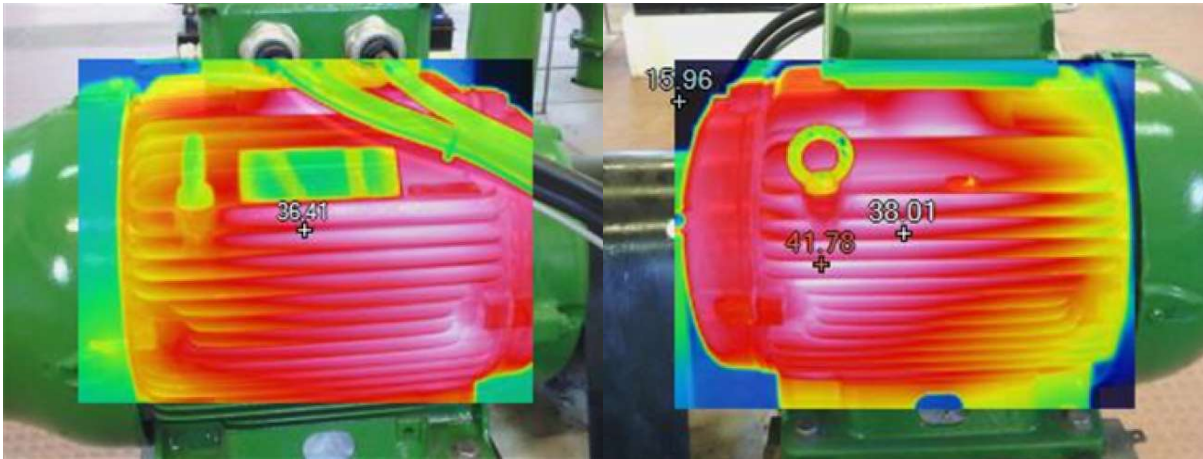
**Observações** Sem registo de perda de água nem de aquecimento.

### 3. Motor - carcaça e cablagem

- 3.1 Cabo de alimentação 30 °C (Isolamento PVC  $T_{m\acute{a}x} < 70^{\circ}C$ )
- 3.2 Carcaça do motor 42 °C

<60°C	60-70°C	>70°C
<60°C	60-70°C	>70°C

Termistor (PTC) num enrolamento para proteger o motor quando a temperatura atingir os 155 °C

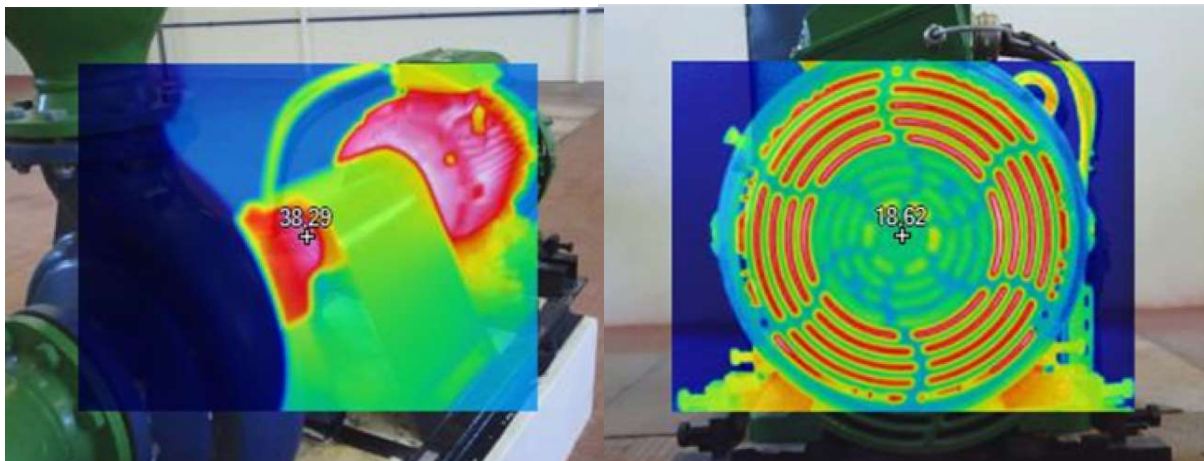


**Observações** Valores normais de temperatura.

### 4. Motor - rolamento ataque e oposto

- 4.1 RA 30 °C 6312 ZZ C3 (selado - sem relubrificação)
- 4.2 ROA 30 °C 6212 ZZ C3 (selado - sem relubrificação)

<70°C	70-90°C	>90°C
<70°C	70-90°C	>90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento.

*Em anexo a este registo de inspeção está um relatório elaborado no software Fluke connect com alguma informação adicional sobre a avaliação termográfica.*

# **EPAL/ISEL**

## **ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE CURVACEIRAS**

### **AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA DO GRUPO 2 DE ELEVAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE SOUDOS**

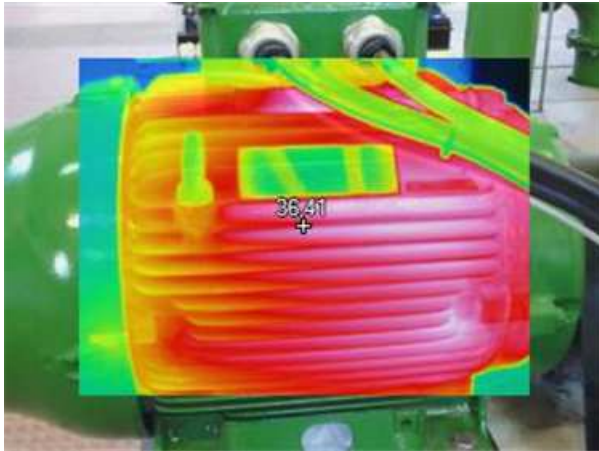
**Summary:** Em termos de procedimento de ensaio, o grupo electrobomba entrou em exploração às 13h, tendo-se aguardado 2h pela sua estabilização térmica. Sendo um grupo de 30kW, a trabalhar a cerca de 2/3 da carga, foi possível recolher informação termográfica representativa da sua condição de funcionamento. As zonas avaliadas são as zonas dos rolamentos na bomba e no motor, havendo ainda foco na carcaça do motor, onde existem perdas térmicas resistivas no estator e no rotor.

## Table of Contents

IR_00231.IS2 .....	3
IR_00240.IS2 .....	4
IR_00230.IS2 .....	6
IR_00232.IS2 .....	7
IR_00234.IS2 .....	8
IR_00223.IS2 .....	9
IR_00224.IS2 .....	10
IR_00218.IS2 .....	11
IR_00226.IS2 .....	12
IR_00227.IS2 .....	13

## IR\_00231.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	MOTOR
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

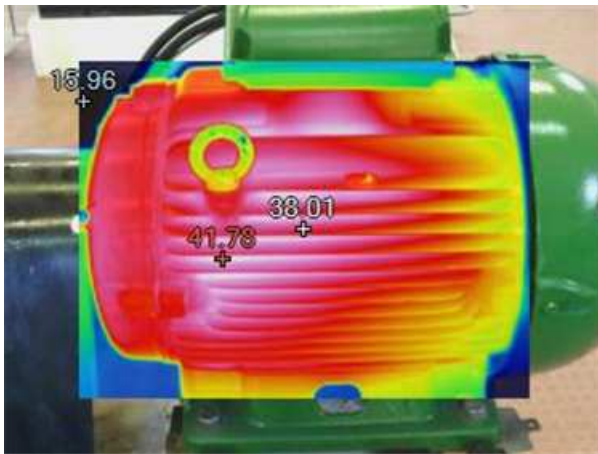
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	12,04 °C até 40,98 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	36,4 °C	36,4 °C	36,4 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00240.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	MOTOR
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0.95	<b>Reflected Temperature</b>	22.00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0.95
<b>Background Temperature</b>	22.00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20.00 °C to 100.00 °C
<b>Image Range</b>	15.96 °C to 41.78 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

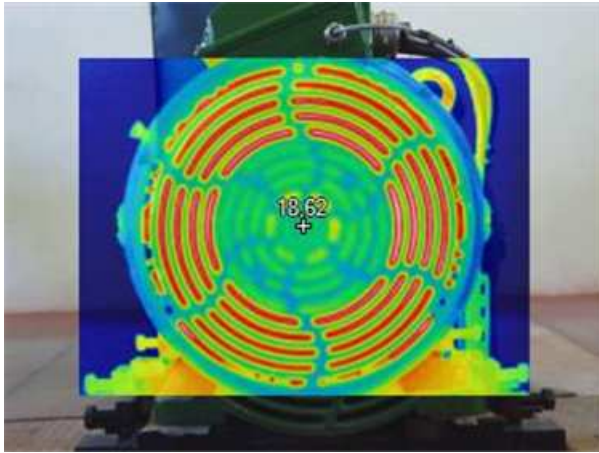
### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Centerpoint	38.0 °C	38.0 °C	38.0 °C	0.95	22.0 °C	0.00	
Hot	41.8 °C	41.8 °C	41.8 °C	0.95	22.0 °C	0.00	

<b>Marker Name</b>	<b>Maximum</b>	<b>Minimum</b>	<b>Average</b>	<b>Emissivity</b>	<b>BG Temp</b>	<b>Std.Dev</b>	<b>Delta-T</b>
Cold	16.0 °C	16.0 °C	16.0 °C	0.95	22.0 °C	0.00	

## IR\_00230.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	MOTOR
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

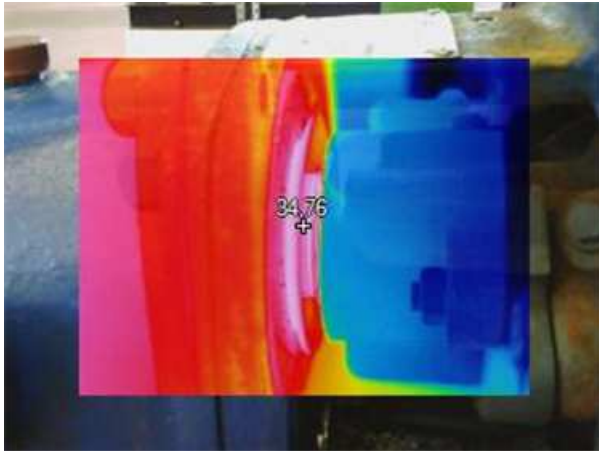
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	14,61 °C até 28,51 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	18,6 °C	18,6 °C	18,6 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00232.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	BOMBA
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

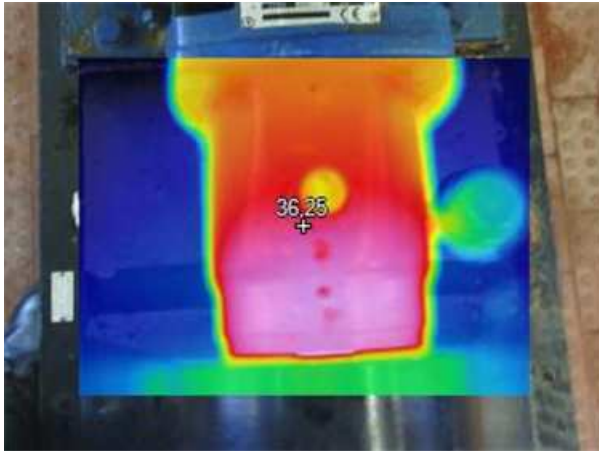
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	11,92 °C até 36,63 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	34,8 °C	34,8 °C	34,8 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00234.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	BOMBA
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

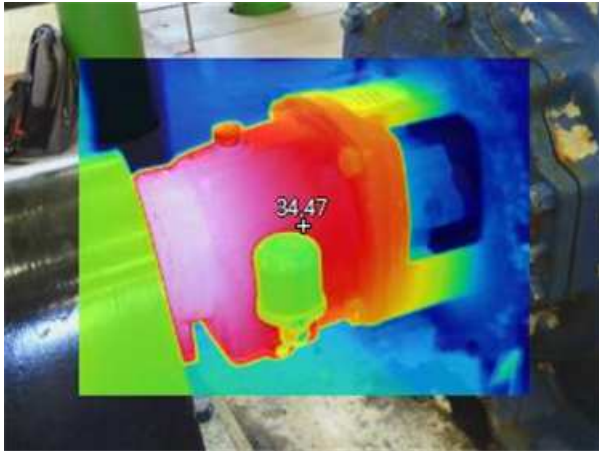
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	15,53 °C até 39,79 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	36,2 °C	36,2 °C	36,2 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00223.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	BOMBA
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

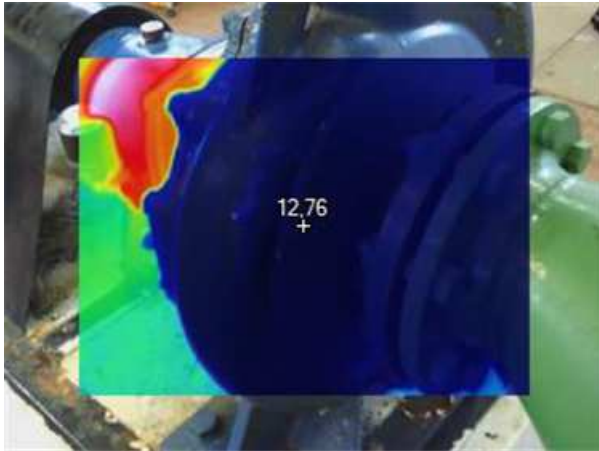
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	12,50 °C até 39,03 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	34,5 °C	34,5 °C	34,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00224.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	BOMBA
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

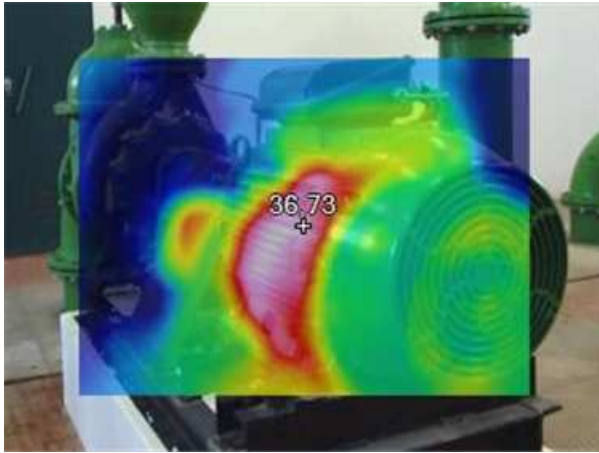
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	12,15 °C até 38,24 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	12,8 °C	12,8 °C	12,8 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00218.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	GRUPO
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

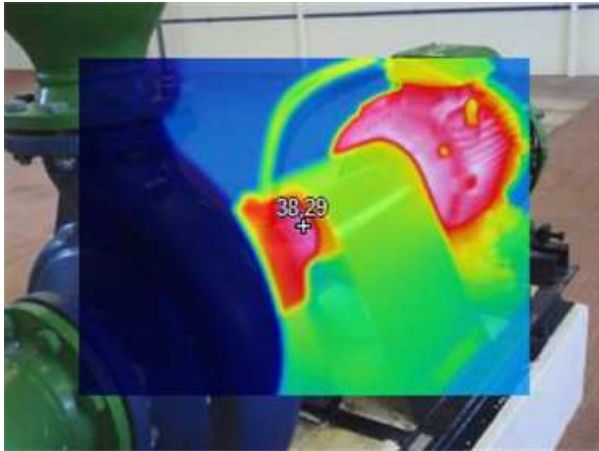
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	12,04 °C até 38,79 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	36,7 °C	36,7 °C	36,7 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00226.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	GRUPO
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

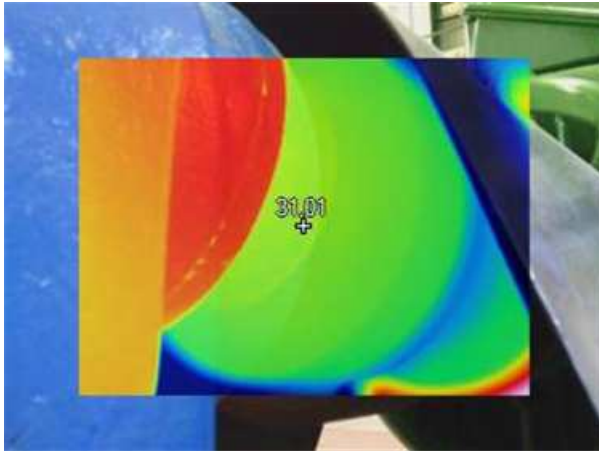
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	11,50 °C até 40,78 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	38,3 °C	38,3 °C	38,3 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00227.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/05/2023	<b>Location</b>	ACOPLAMENTO
<b>Load (%)</b>	2/3	<b>Max Rated Load</b>	30kW
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	22,51 °C até 42,79 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.8

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	31,0 °C	31,0 °C	31,0 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

**Summary: Os valores de temperatura registados são normais para a tipologia de máquinas em avaliação, regime de carga e temperatura ambiente. Do ponto de vista termográfico, a avaliação da condição de funcionamento deste grupo electrobomba, valida a sua boa condição para funcionamento.**

<b>Data</b>	03/abr/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes				
<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Soudos	<b>Grupo</b>	2		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 SUPER PREMIUM	<b>S/N</b>	1051123805	<b>P [kW]</b>	30
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	CJG 125-315	<b>S/N</b>	22843002	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	209
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	29

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	150	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	300	mm
DN Tubo aspiração	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	212,5	mm
DN Tubo compressão	200	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	1270	mm
DN da conduta	450	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	200	mm
Material conduta	FFD		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	1200	mm
Extensão da conduta (L)	3622	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	450	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1 .	03/04/2023 10:36	0,42	2,51	2,46	1489	279,0	26,60	419	4,386
2 .	03/04/2023 10:42	0,41	2,71	2,44	1489	258,1	25,50	423	4,057
3 .	03/04/2023 10:48	0,41	2,84	2,42	1490	241,3	24,80	423	3,792
4 .	03/04/2023 10:53	0,42	3,05	2,38	1491	207,7	22,80	422	3,264
5 .	03/04/2023 10:57	0,42	3,35	2,30	1493	123,5	17,50	423	1,941
6 .	03/04/2023 11:00	0,44	3,51	2,06	1496	0,0	11,30	423	0,000

Tabela 1 - Dados de ensaio

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ Diferença de cotas [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1 .	03/04/2023 10:36	2,2	2,5	0,07	21,32	1,57	0	22,95	17,45
2 .	03/04/2023 10:42	2,0	2,3	0,06	23,46	1,57	0	25,09	17,64
3 .	03/04/2023 10:48	1,9	2,1	0,05	24,79	1,57	0	26,41	17,36
4 .	03/04/2023 10:53	1,6	1,8	0,04	26,83	1,57	0	28,43	16,09
5 .	03/04/2023 10:57	1,0	1,1	0,01	29,89	1,57	0	31,47	10,59
6 .	03/04/2023 11:00	0,0	0,0	0,00	31,31	1,57	0	32,88	0,00

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1 .	03/04/2023 10:36	26,6	94,77%	25,21	69,24%	17,5	65,62%	0,415	0,095
2 .	03/04/2023 10:42	25,5	94,75%	24,16	73,03%	17,6	69,19%	0,394	0,099
3 .	03/04/2023 10:48	24,8	94,73%	23,50	73,87%	17,4	70,00%	0,389	0,103
4 .	03/04/2023 10:53	22,8	94,60%	21,57	74,60%	16,1	70,57%	0,386	0,110
5 .	03/04/2023 10:57	17,5	94,06%	16,46	64,33%	10,6	60,51%	0,450	0,142
6 .	03/04/2023 11:00	11,3	91,14%	10,30	0,00%	0,0	0,00%		

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

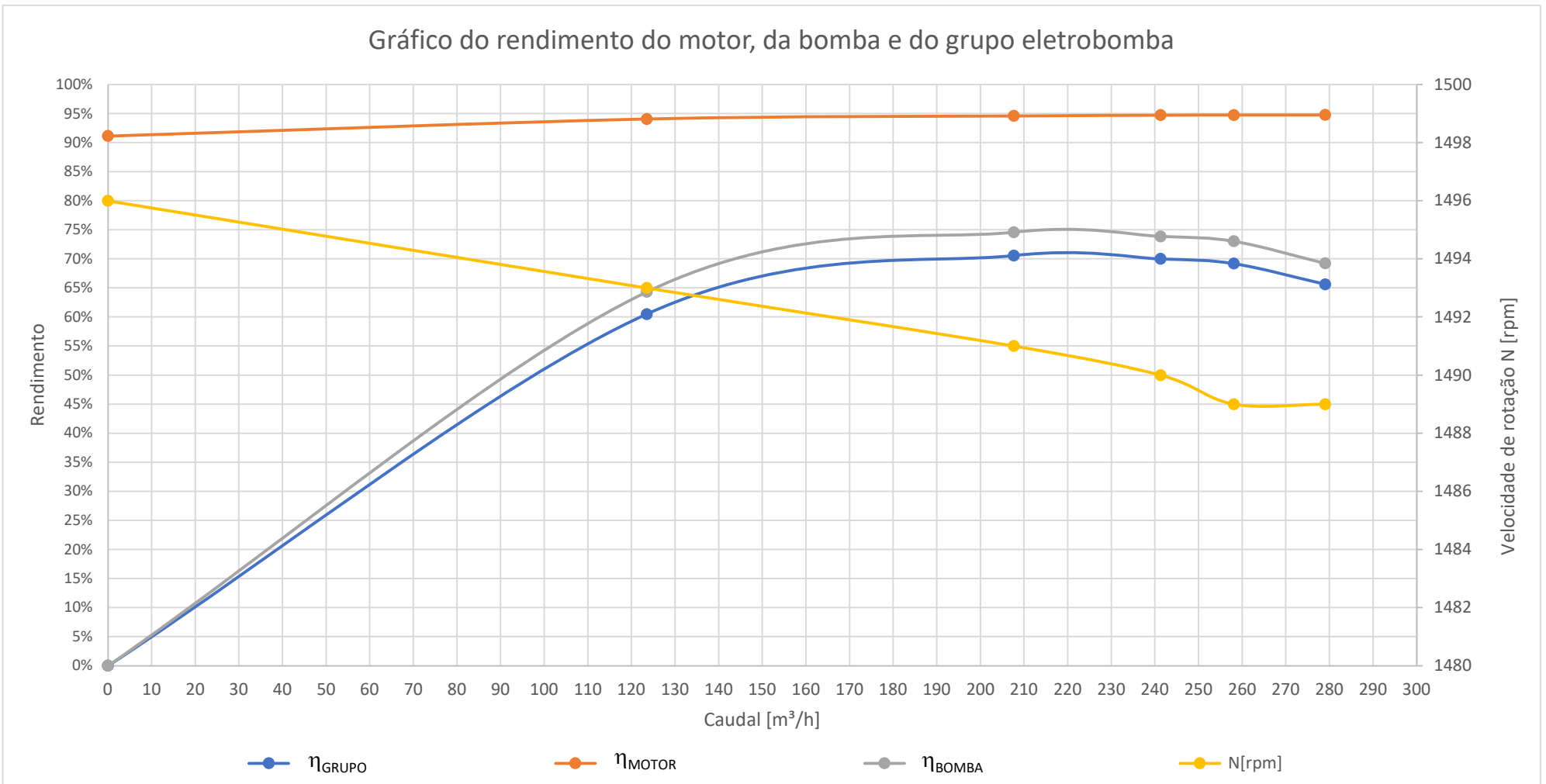
	Data ; Hora	$v_{\text{COLETOR}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]
1 .	03/04/2023 10:36	0,5	-0,23	20,81	1,50	22,08
2 .	03/04/2023 10:42	0,5	-0,20	20,71	1,50	22,01
3 .	03/04/2023 10:48	0,4	-0,17	20,50	1,50	21,83
4 .	03/04/2023 10:53	0,4	-0,13	19,99	1,50	21,36
5 .	03/04/2023 10:57	0,2	-0,05	19,18	1,50	20,63
6 .	03/04/2023 11:00	0,0	0,00	16,52	1,50	18,02

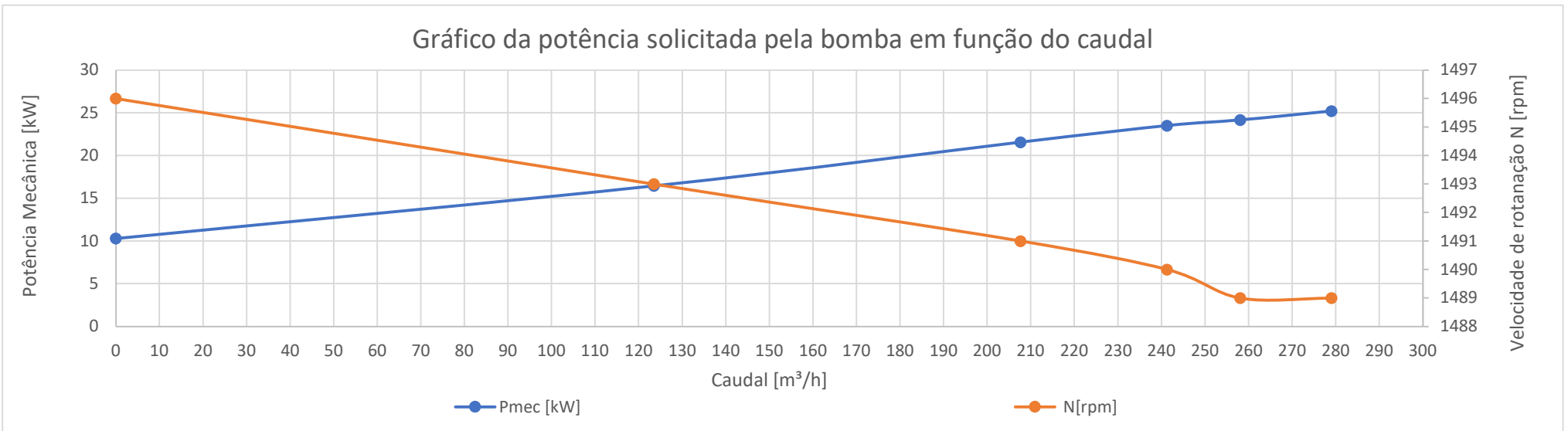
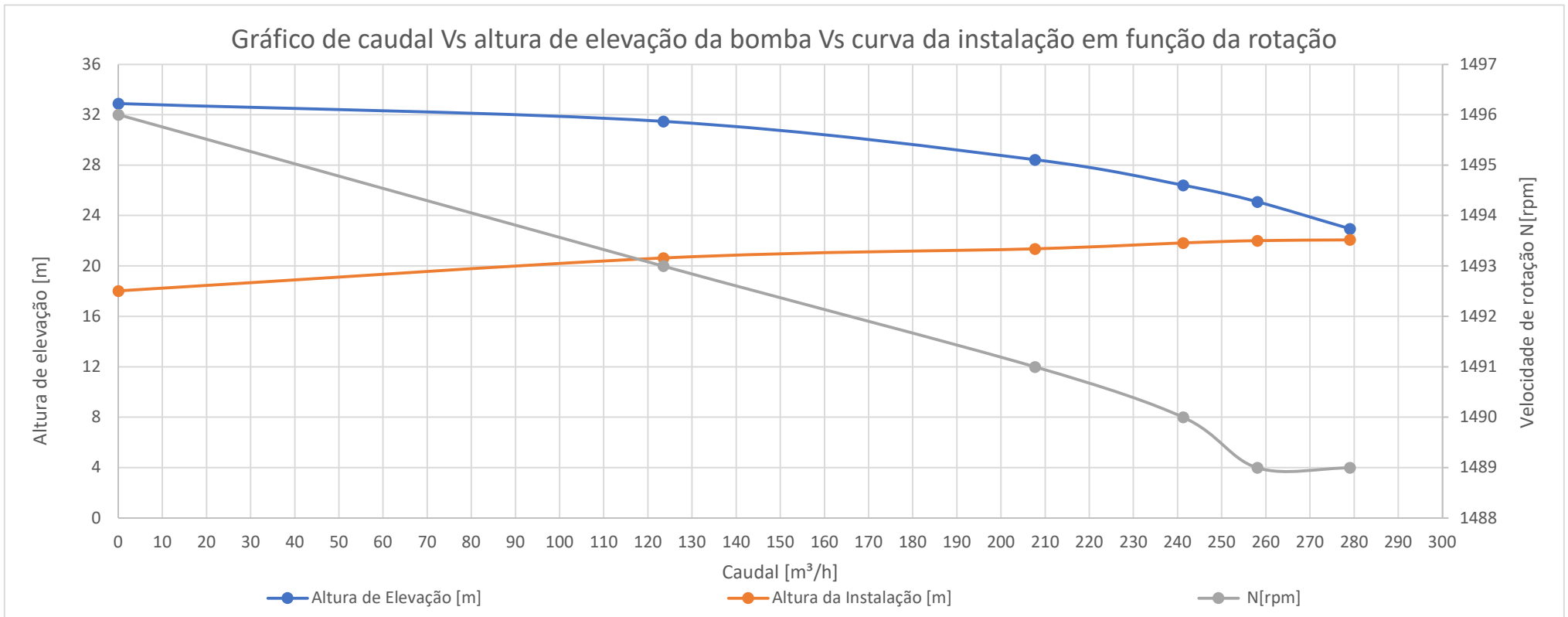
Tabela 4 - Cálculos da instalação

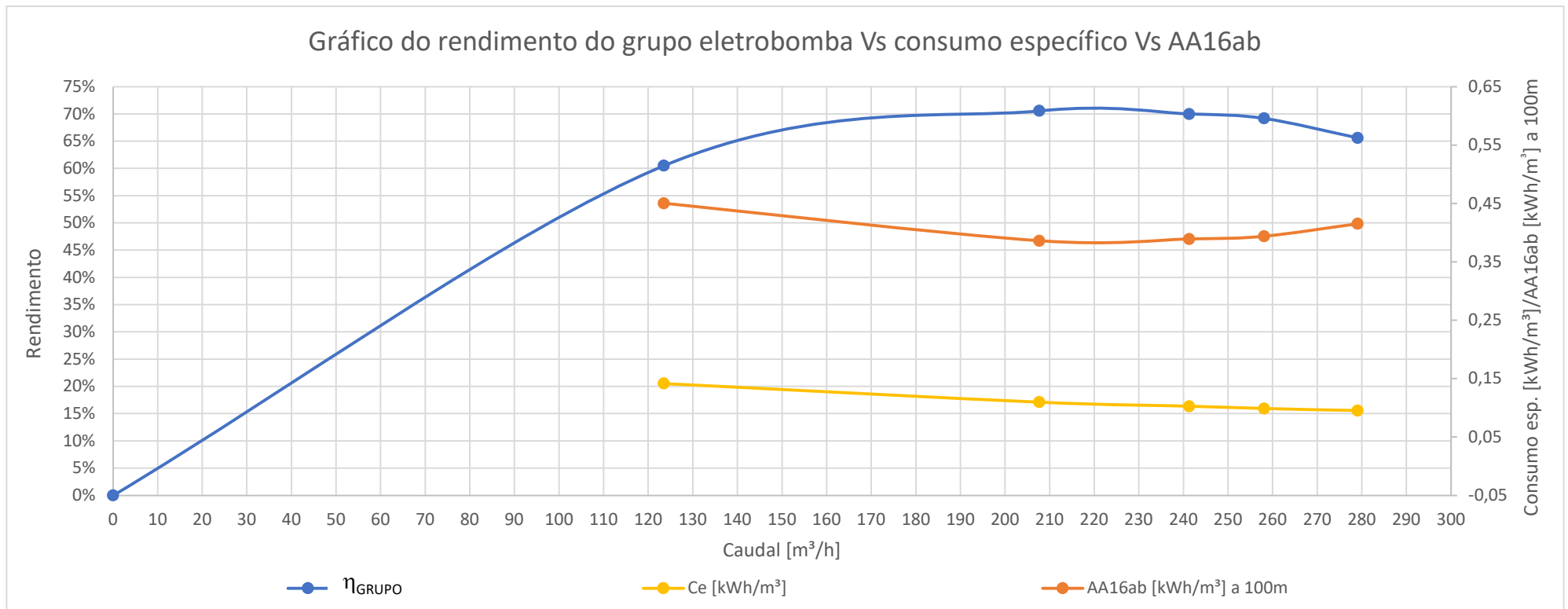
# INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEV	3K220000677947	47828	2019	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	1151 GP7 S12	9427468	40176	1991	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Intrumentos de suporte ao ensaio







## OBSERVAÇÕES

No gráfico do rendimento da bomba constata-se que para caudais superiores a 210 m³/h esta bomba com 21 anos, 100 000h de serviço e reduzida dimensão e manutenção, mantém um desempenho muito razoável, próximo dos 75%. Para esta realidade deverão ter contribuído fatores como a boa seleção de materiais destacando-se o impulsor em bronze e o empanque mecânico.

A curva da instalação é sensivelmente linear na zona de funcionamento desta zona de elevação (270 m³/h < Q < 650 m³/h) revelando que não é atingida a zona parabólica da curva por as velocidades na conduta, mesmo com três grupos em paralelo, não serem significativamente superiores a 1m/s, ou seja, os termos de perda de carga onde a velocidade é elevada ao quadrado, ainda não assumiram preponderância no resultado do cálculo.

Muito importante verificar que no gráfico do consumo específico o indicador AA16ab tem tendência crescente a partir dos 240 m³/h, ao invés da curva de consumo específico que mantém a tendência decrescente. Este facto consubstancia que o indicador AA16ab, por si só, não pode avaliar globalmente o desempenho de um grupo, de uma instalação, muito menos de uma empresa.

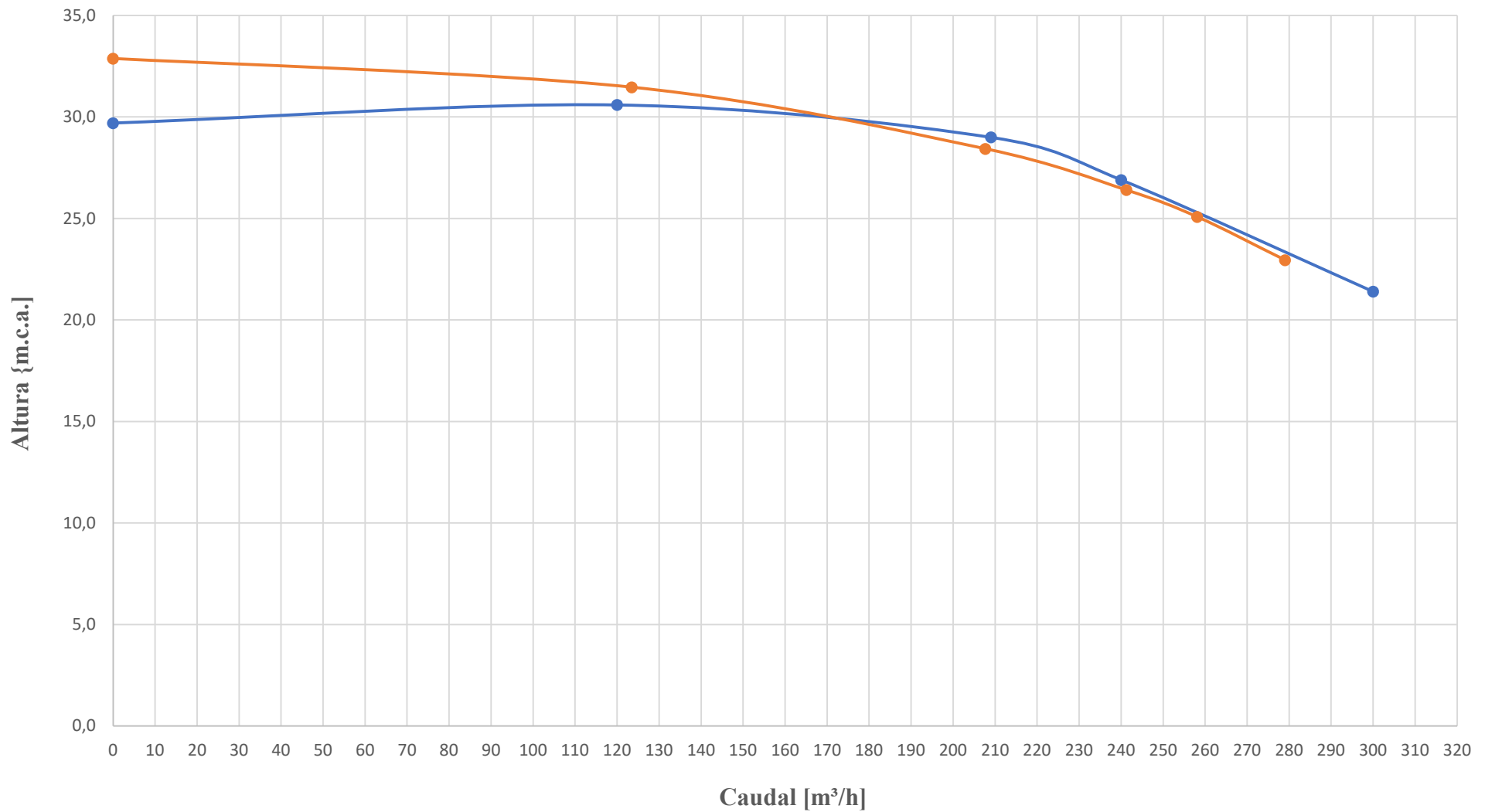


## ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPOS ELETROBOMBA COMPARATIVO HISTÓRICO

<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras	Destino Elev.	Res. Soudos	Grupo	2			
<b>MOTOR</b>	Marca	WEG	Modelo	W22 S. Premium	S/N	1051123805	P [kW]	30
<b>BOMBA</b>	Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125-315	S/N	22843002	Q <sub>n</sub> [m <sup>3</sup> /h]	209
							H <sub>n</sub> [m]	29

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]
0	29,7	279	23,0						
120	30,6	258	25,1						
209	29,0	241	26,4						
240	26,9	208	28,4						
300	21,4	123	31,5						
		0	32,9						

### BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Caudal Vs Altura



● ENSAIO - 0  
ENSAIOS DE FÁBRICA 2002  
MOTOR EFACEC BF5

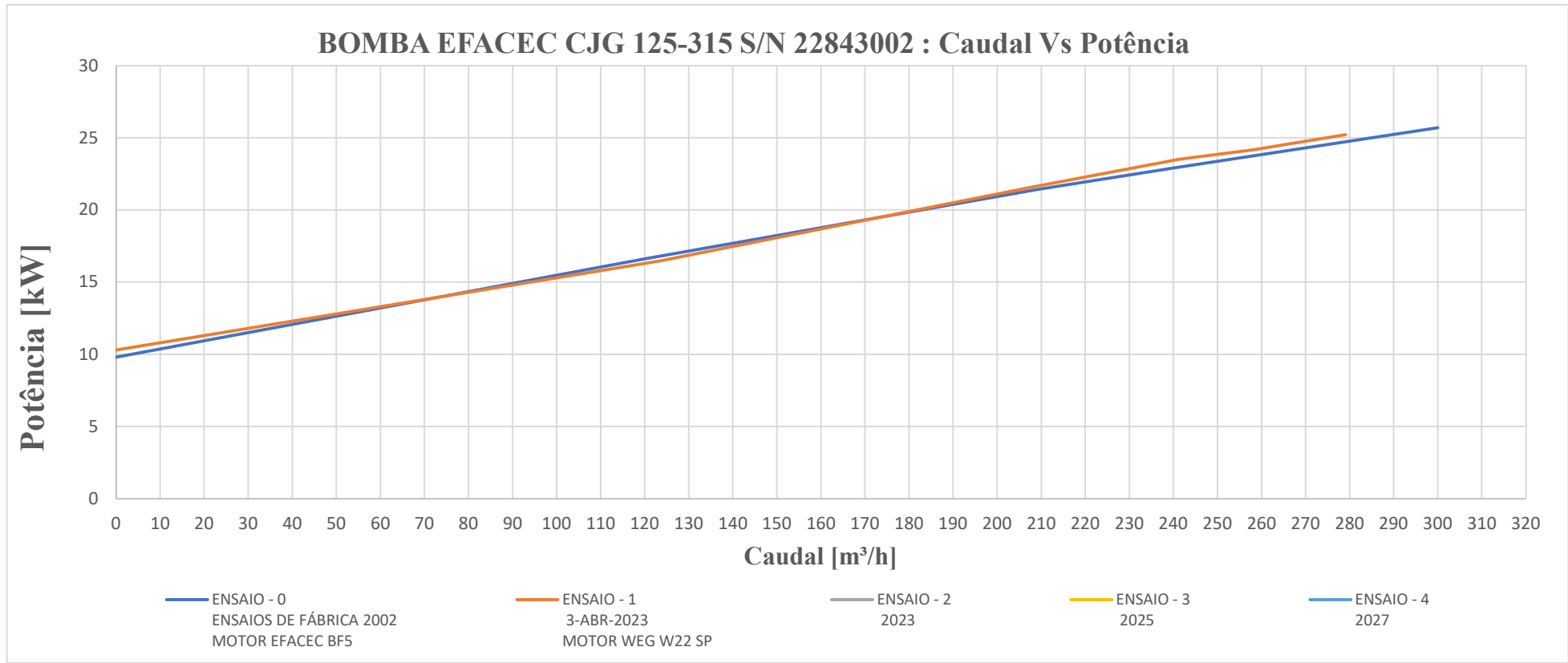
● ENSAIO - 1  
3-ABR-2023  
MOTOR WEG W22 SP

● ENSAIO - 2  
2023

● ENSAIO - 3  
2025

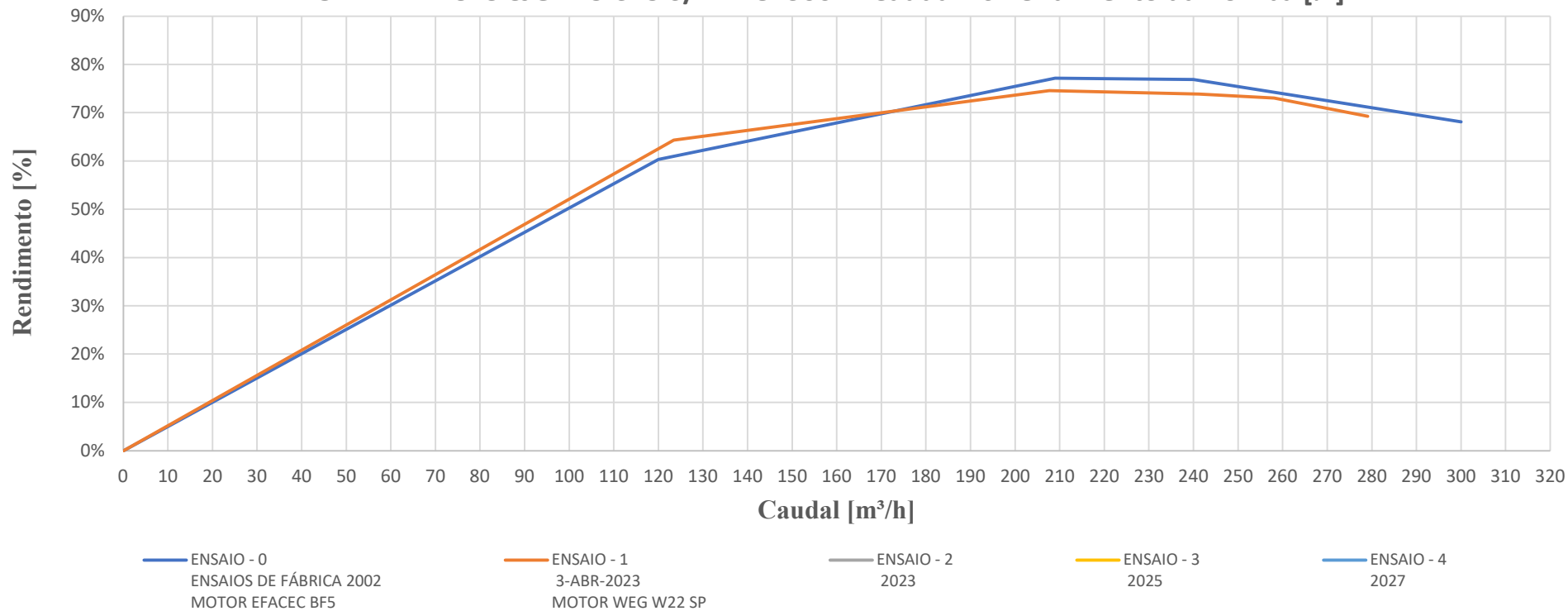
● ENSAIO - 4  
2027

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]
0	9,8	279	25,2						
120	16,6	258	24,2						
209	21,4	241	23,5						
240	22,9	208	21,6						
300	25,7	123	16,5						
		0	10,3						



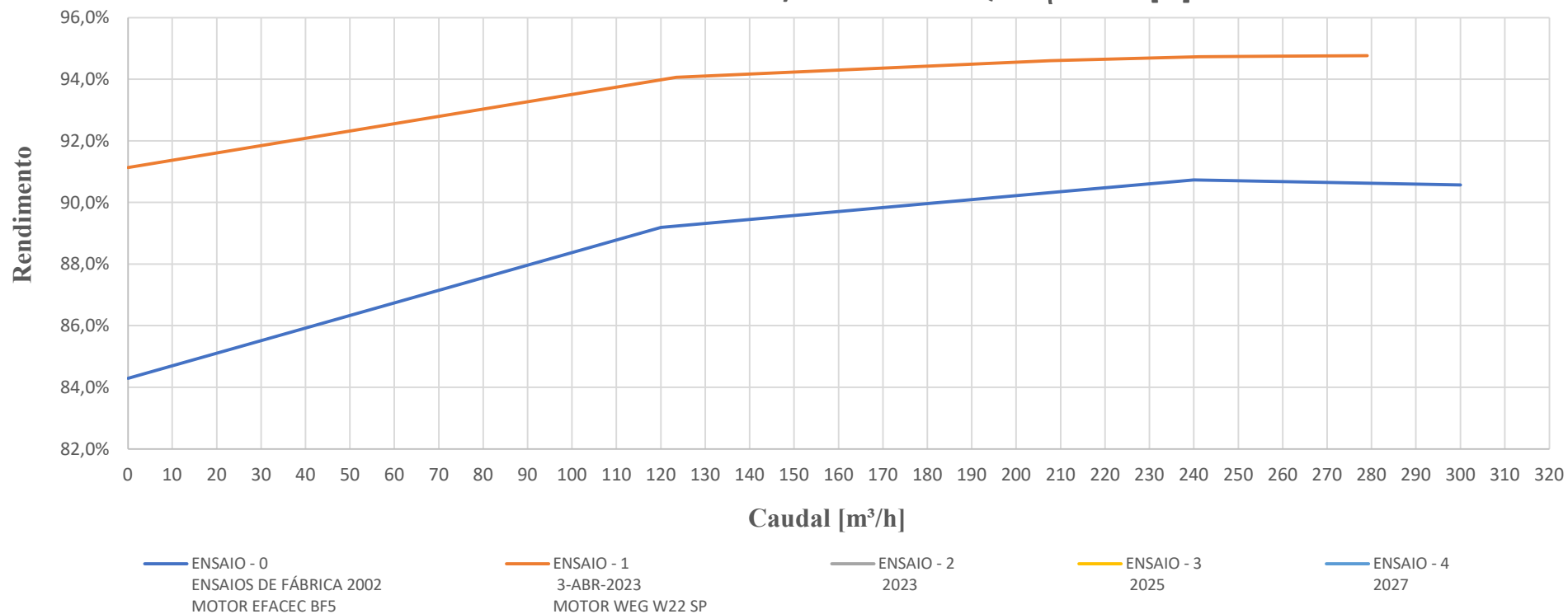
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	279	69,2%						
120	60,3%	258	73,0%						
209	77,2%	241	73,9%						
240	76,9%	208	74,6%						
300	68,1%	123	64,3%						
		0	0,0%						

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Caudal Vs Rendimento da Bomba [%]



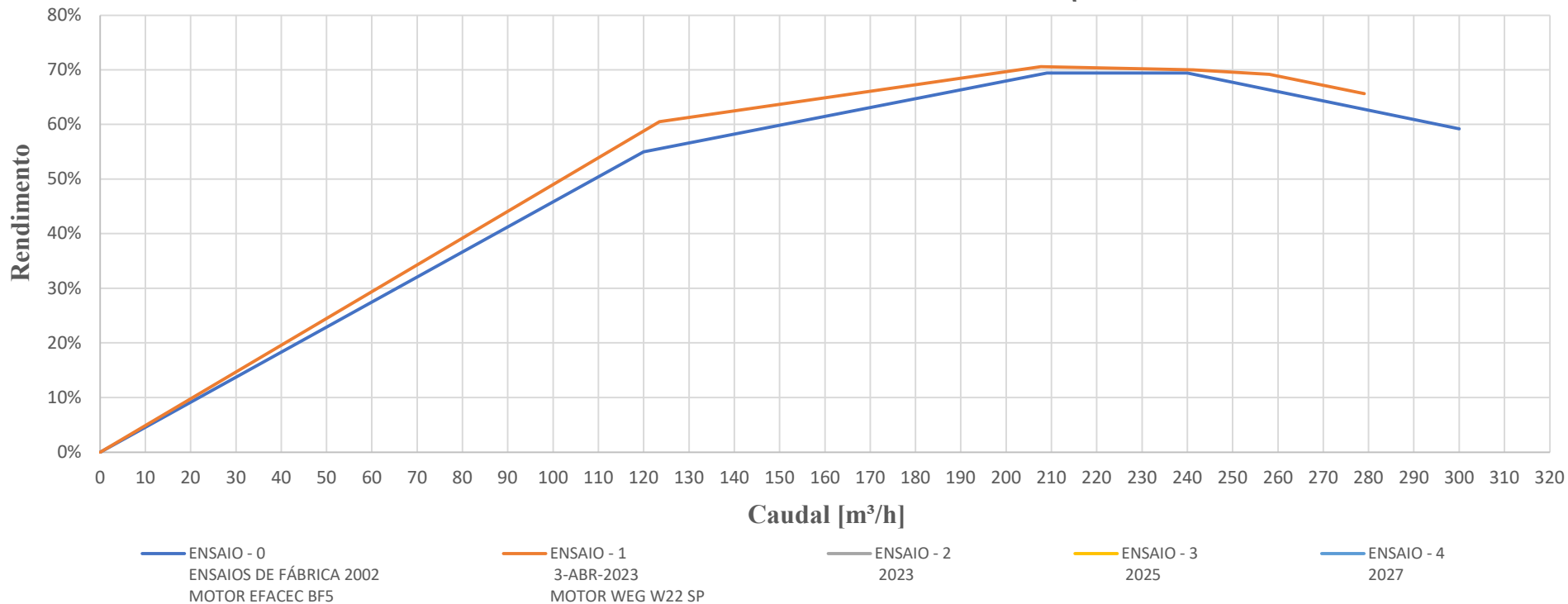
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	84,3%	279	94,8%						
120	89,2%	258	94,8%						
209	90,3%	241	94,7%						
240	90,7%	208	94,6%						
300	90,6%	123	94,1%						
		0	91,1%						

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Q Vs η Motor [%]



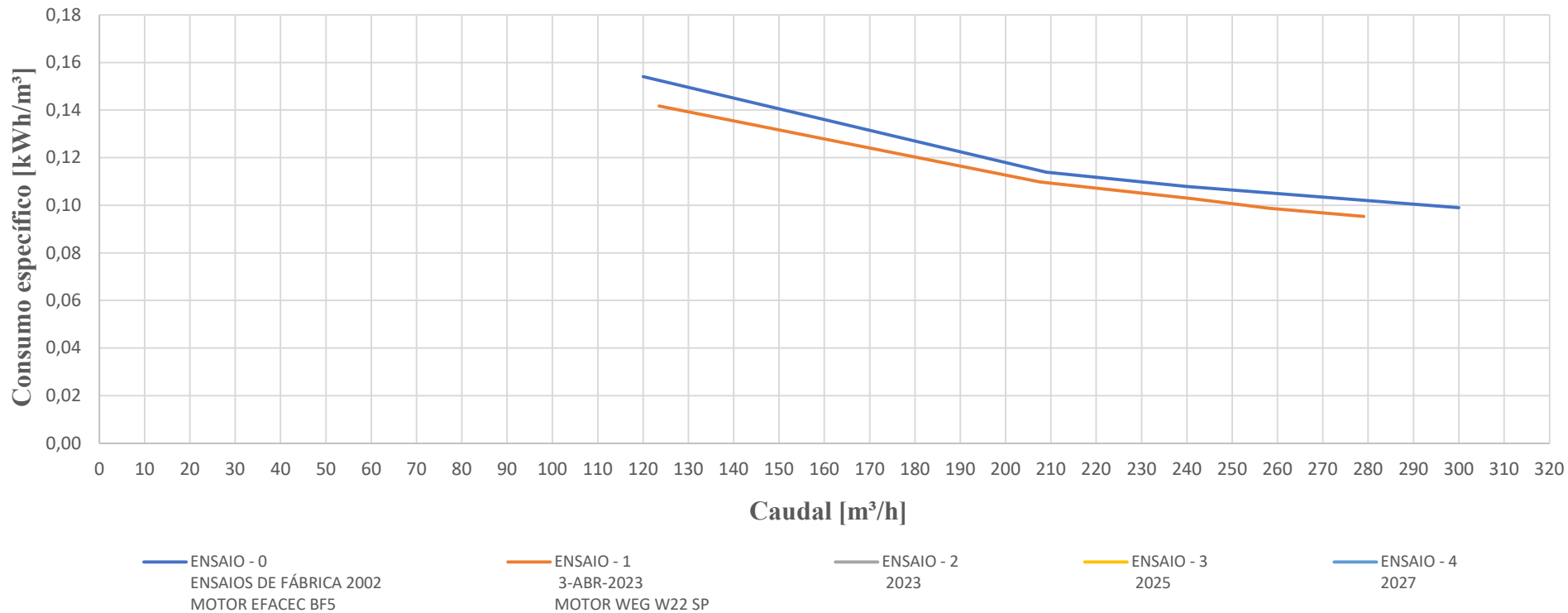
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	279	65,6%						
120	55,0%	258	69,2%						
209	69,4%	241	70,0%						
240	69,4%	208	70,6%						
300	59,2%	123	60,5%						
		0	0,0%						

GRUPO COM BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Q Vs η Grupo Eletrobomba [%]



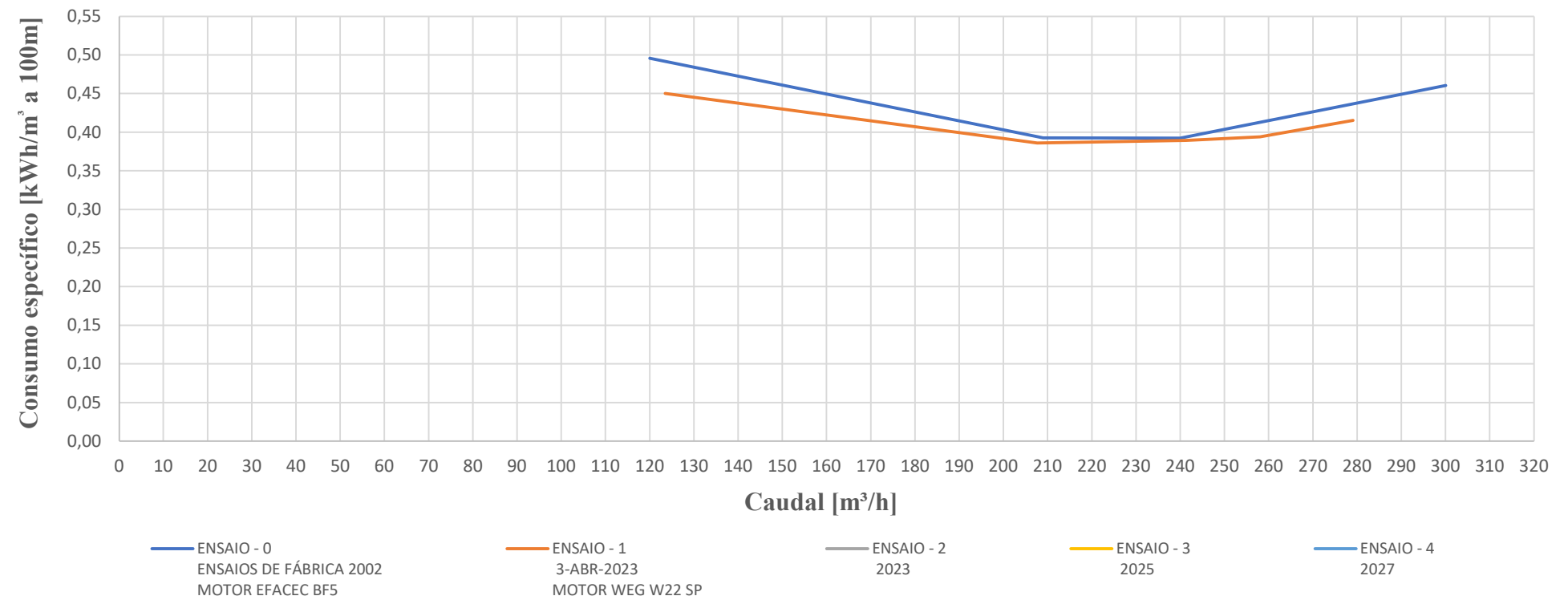
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	Ce [kW/m³]	Q [m³/h]	Ce [kW/m³]	Q [m³/h]	Ce [kW/m³]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0		279	0,10						
120	0,15	258	0,10						
209	0,11	241	0,10						
240	0,11	208	0,11						
300	0,10	123	0,14						
		0							

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs Consumo específico [kWh/m³]



ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kW/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kW/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kW/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0		279	0,42						
120	49,6%	258	0,39						
209	39,3%	241	0,39						
240	39,2%	208	0,39						
300	46,0%	123	0,45						
		0							

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs AA16ab [kWh/m<sup>3</sup> a 100m]



## **OBSERVAÇÕES**

Em primeiro lugar, digno de registo, está a maior capacidade da bomba em elevar água para uma pressão superior face à de fábrica, para os primeiros quatro pontos de ensaio, ou seja, para caudais inferiores a 150 m<sup>3</sup>/h. Esta situação deve ser reavaliada após reabilitação da bomba, uma vez que é um resultado claramente inesperado uma vez que a geometria do impulsor, não sendo alterada, não deveria possibilitar a imposição de uma maior pressão por exemplo para caudal nulo. Em termos de caudal máximo a bomba estará a perder apenas 3,3% o que, para 21 anos de serviço, não constitui um valor significativo.

Ao nível do rendimento, para caudais superiores a 200 m<sup>3</sup>/h, a bomba está a perder quatro pontos percentuais praticamente em toda a zona de funcionamento.

Atendendo a que o motor é de alta eficiência (IE4), substituído em 2019, o rendimento do grupo acaba por não desiludir uma vez que se situa próximo dos 70%, para a zona de funcionamento de mais do que um grupo e paralelo.

No indicador ERSAR - AA16ab este grupo apresenta valores compreendido entre 0,39 e 0,44 kWh/m<sup>3</sup> a 100m, sendo este um resultado bastante aceitável.

# AVALIAÇÃO DE BOMBA (abertura/desmontagem)

Data:	20/abr/23	Responsável:	Miguel Fernandes		
Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125/315	S/N	22843002
Est. Elev.	CURVACEIRAS	Destino	SODOS	Gr.	GRUPO 2
Local	Oficina OZEC	Localidade	Palmela		

## 1. Avaliação da bomba antes da desmontagem

1.1	Conservação do revestimento exterior	Degradado.
1.2	Estado da flange de compressão	Satisfatório
1.3	Estado da flange de aspiração	Satisfatório
1.4	Estado dinâmico do conjunto rotórico	Nada a registar
1.5	Estado das alhetas de aspiração do impulsor	Bom
1.6	Estado do veio	Nada a registar
1.7	Estado do acoplamento	Intacto
1.8	Estado do empanque	Bom
1.9	Estado da caixa de rolamentos	Bom
1.10	Avaliação de perdas de óleo	Sem perda de óleo



**Observações** A receção da bomba em oficina revelou uma condição muito boa em termos mecânicos, apenas com registo de perda de revestimento exterior.

## 2. Avaliação da voluta

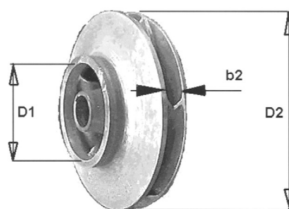
2.1	Conservação do revestimento interior	Degradado.
2.2	Estado do material de base	Bom
3.6	Estado do canal de entrada	Bom
2.3	Estado do canal de saída	Bom
2.4	Estado dos pés de apoio	Bom
2.5	Estado dos pernes de fecho	Bom



**Observações** A voluta apresentava o seu interior sujo com pó de ferrugem. O exterior estava relativamente degradado com zona com perda total do revestimento e nessas zona com alguma corrosão.

## 3. Avaliação do impulsor

3.1	Material	Bronze
3.2	D1 [mm]	184
3.3	D2 [mm]	372
3.4	b2 [mm]	25
3.5	Nº alhetas	7
3.6	massa [kg]	-
3.7	Desgaste nos canais de entrada	Inexistente
3.8	Desgaste nos canais de saída	Inexistente



**Observações** O impulsor apresentava alguma sujidade mas com total integridade de material.

#### 4. Avaliação do veio

4.1	Material	AISI 420	4.2	Corrosão	Sem Corrosão
4.2	Massa	-			
4.3	L [mm]	565			
4.3	L1 [mm]	112	4.3	D1 [mm]	-
4.3	L2 [mm]	170	4.3	D2 [mm]	44,5
4.3	L3 [mm]	203	4.3	D3 [mm]	41,5
4.4	L4 [mm]	282,45	4.4	D4 [mm]	44,5
4.4	Desgaste no apoio do rolamento do ataque				Sem desgaste
4.5	Desgaste no apoio do rolamento do oposto				Sem desgaste
4.6	Desgaste no apoio do impulsor				Sem desgaste
4.7	Desgaste na zona do empanque				Ligeiro



**Desenho** Os rolamentos são apoiados no diâmetro do veio de 44,5 mm e o empanque trabalha na zona de diâmetro igual a 41,5 mm.

**Observações** Veio em boas condições para a continuidade em serviço.

#### 5. Avaliação do empanque

5.1	Integridade	-
5.2	Estanqueidade	Bom



**Observações** O empanque encontrava-se totalmente operacional com perdas irrelevantes de fluido. Atendendo ao número de horas de funcionamento da bomba recomenda-se a substituição por desgaste dos materiais de vedação.

#### 6. Avaliação de caixas e de rolamentos

6.1	Estado do rolamento do ataque	Desgaste normal
6.2	Estado do rolamento do oposto	Desgaste normal
6.3	Avaliação do compensador	Boa condição
6.4	Avaliação do óleo contido na caixa	Escurecido
6.5	Ref. Rolamento ataque	SKF 3309 A/C3 AUSTRIA
6.6	Ref. Rolamento oposto	SKF 2309NU



**Observações** O óleo na caixa de rolamentos encontrava-se escurecido. Este facto é relevante uma vez que indicia que foi atingida uma temperatura superior à temperatura máxima do óleo. Necessário avaliar o óleo lubrificante a utilizar e as folgas nos rolamentos (interior e exterior).

Data: qui 04/05/2023 Responsável: Miguel Fernandes

## 0. Sumário executivo

O trabalho pela OZEC na reparação da voluta apresenta boa qualidade ao nível dos produtos aplicados, em conformidade com as exigências do setor da água potável. A proteção contra corrosão deverá estar assegurada bem como a melhoria do desempenho da bomba.

O processo manual de aplicação dos diferentes produtos implica menor rigor na distribuição das camadas, na sua regularização e nos propriedades mecânicas que se obtêm. Foi possível constatar com a medição de espessuras de revestimento algumas assimetrias ao longo das superfícies.

Não foi possível fazer avaliação de rugosidades por ainda não ter sido adquirido esse instrumento.

## 1. Caracterização da instalação

1.1 Sistema	Castelo do Bode	1.5 Subsistema	Médio Tejo Norte	
1.2 Designação	EE Curvaceiras	1.6 Coordenadas	N	W
1.3 Destino	Reservatório de Soudos		39°32'13.15"	8°27'7.06"
1.4 Grupo	Grupo 2		39.536996	-8.451952

Observações

## 2. Caracterização da bomba

2.1 Marca	EFACEC	2.8 Empanque	Mecânico	2.15 Aspiração - Tipo	Axial
2.2 Modelo	CJG 125-315	2.9 Veio	AISI 420	2.16 Compressão - Tipo	Radial
2.3 Número de Série	22843002	2.10 Corpo	Ferro Fundido	2.17 Aspiração - Flange	DN150
2.4 Caudal nominal [m³/h]	209	2.11 Anel de Desgaste	Bronze	2.18 Compressão - Flange	DN125
2.5 Altura nominal [m.c.a.]	29	2.12 Impulsor - Material	Bronze	2.19 Massa [kg]	-
2.6 N [rpm]	1500	2.13 Impulsor - Tipo	Fechado	2.20 Ano	2002
2.7 Potência Nominal [kW]	30	2.14 Impulsor - D [mm]	300		

Observações

## 3. Caracterização do trabalho realizado - voluta

3.1 Tipo de trabalho	Revestimento	3.5 Item 2.	Limpeza superfícies	3.9 Item 6.	Pintura exterior
3.2 Empresa	OZEC	3.6 Item 3.	LOCTITE SF 7515	3.10 Item 7.	-
3.3 Procedimento	Manual	3.7 Item 4.	Recuperação de superf.	3.11 Item 8.	1 382,40 €
3.4 Item 1.	Decapagem int. e ext.	3.8 Item 5.	Revest. LOCTITE 7255		

Observações Foi executada decapagem com jato de areia. O revestimento foi efetuado com duas camadas de LOCTITE 7255 (cerâmico) com aproximadamente 250µm por camada. A pintura exterior foi efetuada com primário e duas camadas de tinta.

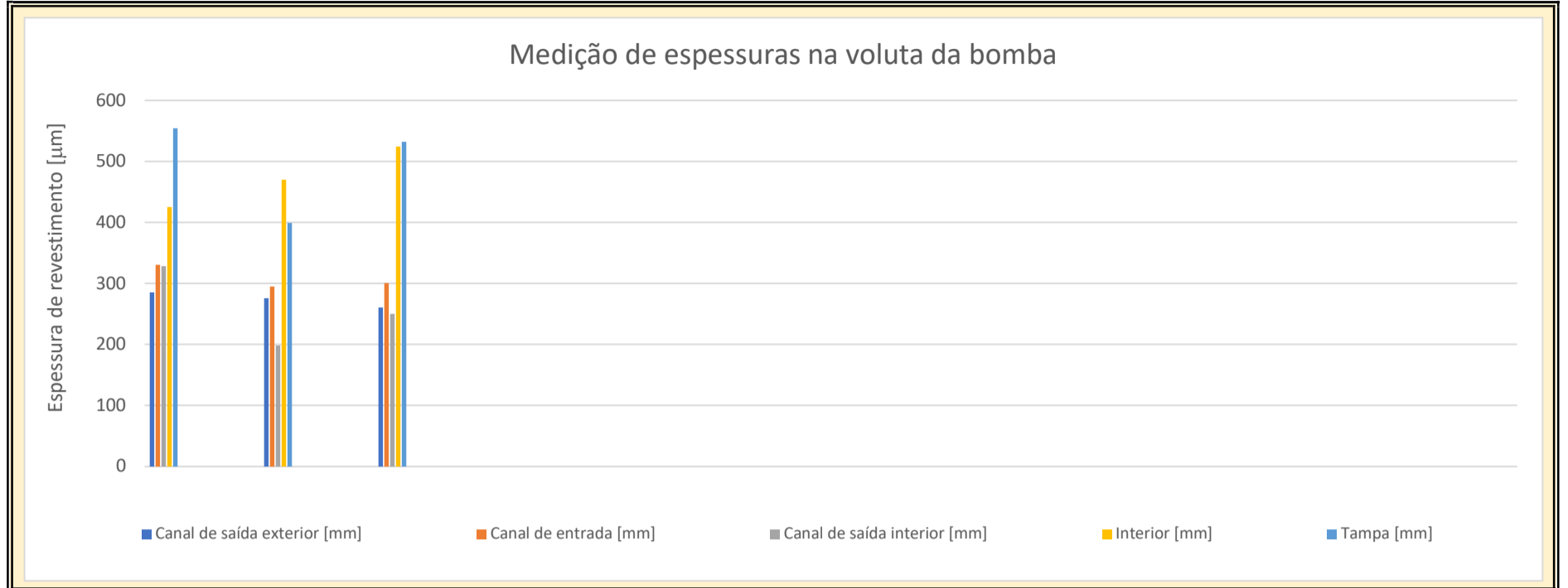
Fotos



## 4. Avaliação do trabalho realizado - voluta: espessuras

4.1 Canal de saída exterior [ $\mu\text{m}$ ]	285,3	275,4	260,3								Média	273,7	Desvio Padrão	10,28
4.2 Canal de entrada [ $\mu\text{m}$ ]	330,2	294,6	300,5								Média	308,4	Desvio Padrão	15,58
4.3 Canal de saída interior [ $\mu\text{m}$ ]	328,1	198,4	250								Média	258,8	Desvio Padrão	53,32
4.4 Interior [ $\mu\text{m}$ ]	425,1	469,7	524,2								Média	473	Desvio Padrão	40,52
4.5 Tampa [ $\mu\text{m}$ ]	554	399	532								Média	495	Desvio Padrão	68,47
4.6 [ $\mu\text{m}$ ]											Média		Desvio Padrão	

Gráfico



Registos

Observações

Constata-se que a aplicação manual não assegura a uniformidade de espessura pretendida. A espessura contratualizada não foi verificada globalmente. Regista-se ainda alguma dificuldade na leitura de medidas com o instrumento Trotec BB30.  
*Instrumento de medição de espessuras: Trotec BB30 SN 8378 Ano:2019 (Parametrização para medição em ferro como material de base).*

## 5. Avaliação do trabalho realizado - voluta: rugosidades

	Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPC		Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPC
5.1 Tampa P1 [ $\mu\text{m}$ ]									Média								
5.2 Tampa P2 [ $\mu\text{m}$ ]																	
5.3 Tampa P3 [ $\mu\text{m}$ ]																	
5.4 Tampa P4 [ $\mu\text{m}$ ]																	
5.5 Canal de entrada P1 [ $\mu\text{m}$ ]									Média								
5.6 Canal de saída P1 [ $\mu\text{m}$ ]																	
5.7 Interior P1 [ $\mu\text{m}$ ]																	
5.8 Interior P2 [ $\mu\text{m}$ ]																	
5.9 Interior P3 [ $\mu\text{m}$ ]																	
5.10 Interior P4 [ $\mu\text{m}$ ]																	

Gráfico

Observações

Não houve possibilidade de medir rugosidades.

## 6. Caracterização do trabalho realizado - impulsor

6.1 Tipo de trabalho	-	6.5 Item 2.	-	6.9 Item 6.	-
6.2 Empresa	-	6.6 Item 3.	-	6.10 Item 7.	-
6.3 Procedimento	-	6.7 Item 4.	-	6.11 Item 8.	-
6.4 Item 1.	-	6.8 Item 5.	-	6.12 Dext [mm]	

Fotos

Observações

O impulsor não foi revestido.

## 7. Avaliação do trabalho realizado - impulsor: espessuras

7.1 Impulsor - Exterior [ $\mu\text{m}$ ]														Média		Desvio Padrão	
7.2 Impulsor-pás de aspiração [ $\mu\text{m}$ ]														Média		Desvio Padrão	
7.3 Impulsor - canal de saída [ $\mu\text{m}$ ]														Média		Desvio Padrão	

Gráfico

Registos

Observações

## 8. Avaliação do trabalho realizado - impulsor: rugosidades

	Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPC		Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPC		
8.1 Exterior entr. P1 [ $\mu\text{m}$ ]									Média										
8.2 Exterior entr. P2 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.3 Exterior entr. P3 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.4 Exterior entr. P4 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.5 Canal de saída P1 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.6 Canal de saída P2 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.7 Canal de saída P3 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.8 Canal de saída P4 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.9 Canal de saída P5 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.10 Canal de saída P6 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.11 Canal de saída P7 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.12 Canal de entrada P1 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.13 Canal de entrada P2 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.14 Canal de entrada P3 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.15 Canal de entrada P4 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.16 Canal de entrada P5 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.17 Canal de entrada P6 [ $\mu\text{m}$ ]																			
8.18 Canal de entrada P7 [ $\mu\text{m}$ ]																			

Observações

## 9. Avaliação da voluta da bomba - revestimento exterior

9.1 Tipo de trabalho	Revestimento	9.5 1ª Camada		
9.2 Empresa	Ozec	9.6 2ª Camada		
9.3 Procedimento	Manual			
9.4 Primário				

Observações

## 10. Avaliação da voluta da bomba - revestimento exterior - espessuras

10.1 Caracol [ $\mu\text{m}$ ]	152	200	100	201	124	35,1	74,4	87,4	85,7	82,4	66,7	182	Média	115,9	Desvio Padrão	53,09
10.2 Flange aspiração [ $\mu\text{m}$ ]	68,2	86,5	148	98,7	99,2	99	248	202	120	87,6	120	138	Média	126,3	Desvio Padrão	49,94
10.3 Flange compressão [ $\mu\text{m}$ ]	66,4	151	182	151	198	147	151	120	147	201	150	177	Média	153,5	Desvio Padrão	34,67
10.4 Tampa [ $\mu\text{m}$ ]	447	132	200	200	186	126	169	275	346	278	202	184	Média	228,8	Desvio Padrão	89,27
10.5 [ $\mu\text{m}$ ]													Média		Desvio Padrão	
10.6 [ $\mu\text{m}$ ]													Média		Desvio Padrão	

Observações

## 11. Produto de enchimento de irregularidades

11.1 Marca	-	11.5 Base - Cor	-	11.12 Tensão corte	-
11.2 Modelo	-	11.6 Base - Densidade	-	11.13 Tensão rotura	-
11.3 Tipo	-	11.7 Agregador - Cor	-	11.14 "Shore D"	-
11.4 Função	-	11.8 Agreg. - Densidade	-	11.15 Elasticidade	-
		11.9 Mistura	-	11.16 Módulo Young	-
		11.10 Mistura-densidade	-	11.17 Resistência Impacto	-
		11.11 Mistura-COVs	-		


Certificações

Observações

## 12. Produto de revestimento LOCTITE 7255

12.1 Marca	LOCTITE	12.5 Base - Cor	Massa verde	12.12 Viscosidade	86 shore D
12.2 Modelo	7255	12.6 Base - Densidade	1,63 g/cm <sup>3</sup>	12.13 Tensão corte	31 MPa
12.3 Tipo	Revestimento de 2 componentes	12.7 Agregador - Cor	Basso	12.14 Tensão rotura	47 Mpa
12.4 Função	Proteção da corrosão	12.8 Agreg. - Densidade	1,5 g/cm <sup>3</sup>	12.15 "Shore D"	80
		12.9 Mistura	100:50 Peso ; 100:50 Volume	12.16 Elasticidade	1,40%
		12.10 Mistura-densidade	1,5 g/cm <sup>3</sup>	12.17 Módulo Young	-
		12.11 Mistura-COVs	-	12.18 Resistência Impacto	3,03 kJ/m <sup>2</sup>

### Certificações

TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL	Technical Data Sheet	WATER REGULATIONS ADVISORY SCHEME LTD. (WRAS) MATERIAL APPROVAL
Cured for 7 days @ 22 °C		
<b>Physical Properties:</b>		The material referred to in this letter is suitable for contact with wholesome water for domestic purposes having met the requirements of BS6920-1:2000 and/or 2014 'Suitability of non-metallic products for use in contact with water intended for human consumption with regard to their effect on the quality of the water'.
Glass Transition Temperature, °C: (Tg) by TMA ISO 11359-2	63	The reference relates solely to its effect on the quality of the water with which it may come into contact and does not signify the approval of its mechanical or physical properties for any use.
Elongation, at break, ISO 527-2, %	1.4	<b>COATINGS, PAINTS &amp; LININGS - FACTORY APPLIED PIPE &amp; FITTINGS COATINGS. 5030</b>
Shore Hardness, ISO 868, Durometer D	86	'Loctite PC 7255 GN (Green) coating for use with Bonderite M-NT 1455-W primer'. Factory applied, green coloured, two-component epoxy resin coating. Prime the surface to be coated with the Bonderite primer wipe. Mix and apply as per manufacturer's TDS dated October 2016. Cure for 7 days@23°C. For use with water up to 85°C.
Tensile Strength, ISO 527-2	N/mm <sup>2</sup> 47 (psi) (6,815)	This material is only approved for the curing conditions that appear on the approval. If the cure conditions are varied from those specified on the approval then the material is not covered by the scope of the approval.
Tensile Modulus, ISO 527-2	N/mm <sup>2</sup> 5,841 (psi) (846,945)	<b>APPROVAL NUMBER: 1901521</b>
Compressive Strength, ISO 604	N/mm <sup>2</sup> 106 (psi) (15,400)	<b>APPROVAL HOLDER: HENKEL LTD.</b>
Compressive Modulus, ISO 604	N/mm <sup>2</sup> 3,260 (psi) (472,700)	The Scheme reserves the right to review approval. Approval 1901521 is valid between January 2019 and January 2024
		An entry, as above, will accordingly be included in the Water Fittings Directory on-line under the section headed, "Materials which have passed full tests of effect on water quality". The Directory may be found at: <a href="http://www.wras.co.uk/directory">www.wras.co.uk/directory</a>

### Observações

<p>Revestimento de superfície epoxi aplicável com spray, com enchimento de cerâmica, bicomponente, verde/cinza, que proporciona uma superfície de alto brilho e baixa fricção que é resistente à abrasão de partículas finas.</p> <p>LOCTITE® PC 7255 é um revestimento de superfície epoxi aplicável por spray, de enchimento de cerâmica, verde/cinza, bicomponente, que é ultra suave e vaporizável. Cria um revestimento sacrificial de alto brilho e baixa fricção que protege da abrasão de partículas finas a temperaturas de serviço de -30 a +95°C. Também funciona bem como uma camada finalizante sobre os compostos de revestimento LOCTITE para aplicações que necessitam reconstrução de superfície e proteção duradoura.</p> <p><b>APLICAÇÕES:</b> Enchimento de cerâmica para proteger contra a abrasão de partículas finas ; Alto brilho, acabamento de baixa fricção ; Ultra-suave e pulverizável ; Adesão superior, forma uma união sólida</p>
---

# AVALIAÇÃO DE BOMBA (montagem)

Data:	06/mai/23	Responsável:	Miguel Fernandes			
Período da intervenção	20/abr/23	a	05/mai/23	<b>Duração</b>	<b>15</b>	<b>dias</b>
Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125/315	S/N	22843002	
Est. Elev.	CURVACEIRAS	Destino	SODOS	Gr.	GRUPO 2	
Local	Oficina OZEC	Localidade	Palmela			

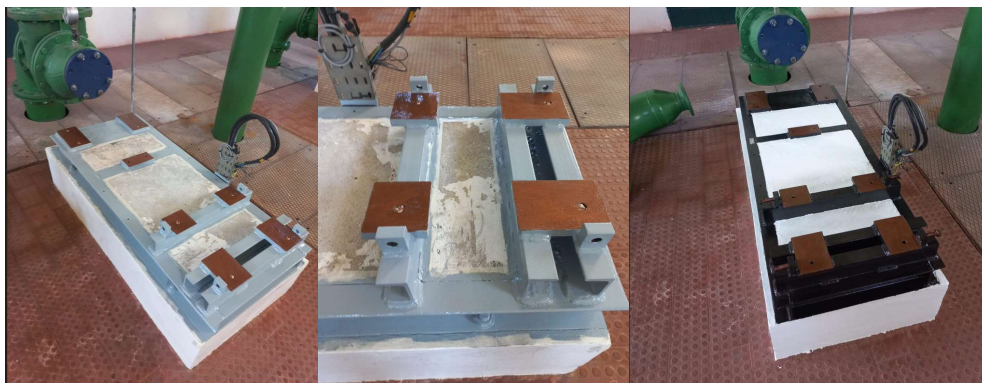
## SUMÁRIO EXECUTIVO

A intervenção de reabilitação desta bomba foi desenvolvida na empresa OZEC por necessidade de avaliação de fornecedores que possam executar em autonomia este tipo de intervenção, mas também por serem o representante da LOCTITE, produto de revestimento que há algum tempo a EPAL queria avaliar.

O facto dos ensaios de condição e de desempenho terem sido realizados no início do mês de Abril, associado ao facto do grupo ter de estar disponível a 13 de Maio, exigiu que a intervenção fosse realizada num período curto. As metodologias aplicadas permitem avaliar globalmente o impacto do revestimento na voluta da bomba.



## 1. Maciço e chassis



**Observações** O maciço foi limpo e revestido para proteção.  
O chassis foi recuperado com remoção de zonas de oxidação, aplicação de um primário passivador e uma tinta de revestimento e proteção.  
Foram também beneficiados os afinadores de posição que permitem a realização com facilidade e exatidão do processo de alinhamento.

## 2. Voluta



**Observações** A voluta foi decapada com jato de areia e protegida posteriormente com o produto LOCTITE SF 7515.

Nas zonas em contacto com a água foi revestida com duas passagens manuais de Loctite 7255. O revestimento exterior também foi executado com duas demãos de tinta.

## 3. Impulsor

3.1 Material	Bronze
3.2 Equilibragem	Sim
3.3 Anel de desgaste	Sim
3.4 $D_{\text{anel}}$ [mm]	184



**Observações** Registadas algumas porosidades no impulsor que não são consideradas relevantes no seu desempenho.

O anel de desgaste apresenta concentricidade e diâmetro constante.

## 4. Veio

4.1 Material	AISI 420
4.2 Camisas	

FOTO DO VEIO NA  
RECEÇÃO

## Desenho

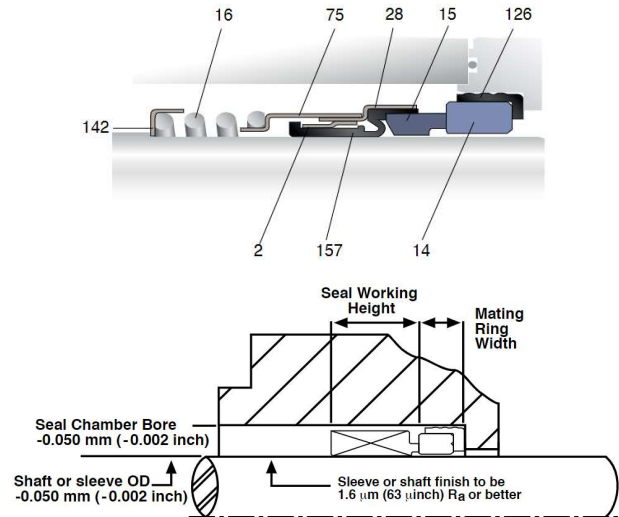
**Observações** Não foi possível proceder à avaliação do veio porque nas últimas visitas antes da montagem da bomba o conjunto rotórico estava na empresa que executa a equilibragem.

## 5. Empanque

5.1 Tipo	Mecânico
5.2 Marca	FLowsERV
5.3 Modelo	PACSEAL D 50 P192/85 SIL/SIL/VI/SS

FOTO DO EMPANQUE

### Desenho



LEGENDA: 14 - Estacionário 15 - Face rotativa 16 - Mola 75 - Adaptador de força elástica da mola 142 - Retentor 157 - Elastómero

**Observações** [https://flowserve.widen.net/view/pdf/kheltsvai7/FIS219\\_EN\\_A5.pdf?t.download=true](https://flowserve.widen.net/view/pdf/kheltsvai7/FIS219_EN_A5.pdf?t.download=true)

O bom desempenho do empanque depende de: - Condição dos rolamentos ; - Deslocamento máximo do veio ; - Deflexão dinâmica do veio.

## 6. Acoplamento

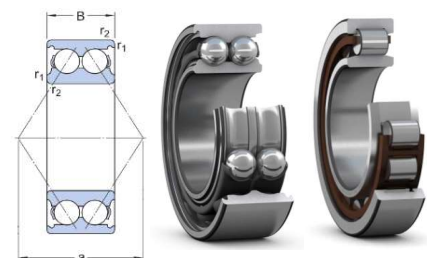
6.1 Tipo	Flexível
6.2 Marca	Flender
6.3 Modelo	N-EUPEX



**Observações** O acoplamento deste grupo foi substituído em 2019 quando foi substituído o motor. A peça do acoplamento que trabalha no veio da bomba não deveria ter sido pintada, em primeiro lugar porque não era necessário atendendo ao seu bom estado de conservação e em segundo lugar porque é tendencialmente um fator de degradação na equilibragem do conjunto rotórico.

## 7. Caixas e de rolamentos

7.1 Ref. Rolamento ataque	FAG 3309 A/C3
7.2 Ref. Rolamento oposto	FAG 23NU09
7.3 Lubrificante	Óleo ISO Classe VG 46 com IV≥105



## Fotos



**Observações** Rolamento FAG 3309 A/C3 de dupla carreira de esferas de contacto angular.  
Rolamento FAG 23NU09 de rolos cilíndricos.  
Substituído o copo Adams do compensador.

<b>Data</b>	10/mai/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes				
<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Soudos	<b>Grupo</b>	2		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 SUPER PREMIUM	<b>S/N</b>	1051123805	<b>P [kW]</b>	30
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	CJG 125-315	<b>S/N</b>	22843002	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	209
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	29

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	150	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	300	mm
DN Tubo aspiração	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	212,5	mm
DN Tubo compressão	200	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	1270	mm
DN da conduta	450	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	200	mm
Material conduta	FFD		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	1200	mm
Extensão da conduta (L)	3622	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	450	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1.	10/05/2023 11:46	0,46	2,57	2,46	1489	312,0	27,8	402	4,9
2.	10/05/2023 11:50	0,46	2,83	2,42	1490	284,0	26,6	403	4,5
3.	10/05/2023 11:54	0,46	3,02	2,36	1491	255,0	25,3	401	4,0
4.	10/05/2023 11:57	0,46	3,19	2,33	1490	227,0	23,8	405	3,6
5.	10/05/2023 11:58	0,46	3,34	2,32	1492	198,0	22,2	402	3,1
6.	10/05/2023 12:01	0,48	3,52	2,30	1492	154,0	19,5	406	2,4
7.	10/05/2023 12:03	0,47	3,62	2,28	1493	111,0	16,9	410	1,7
8.	10/05/2023 12:05	0,48	3,62	2,23	1494	59,0	13,5	411	0,9
9.	10/05/2023 12:06	0,48	3,64	2,15	1495	3,1	11,6	412	0,0

Tabela 1 - Dados de ensaio

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ Diferença de cotas [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1 .	10/05/2023 11:46	2,4	2,8	0,08	21,54	1,57	0	23,20	19,72
2 .	10/05/2023 11:50	2,2	2,5	0,07	24,15	1,57	0	25,79	19,96
3 .	10/05/2023 11:54	2,0	2,3	0,06	26,06	1,57	0	27,69	19,24
4 .	10/05/2023 11:57	1,8	2,0	0,04	27,84	1,57	0	29,45	18,22
5 .	10/05/2023 11:58	1,6	1,8	0,03	29,38	1,57	0	30,98	16,72
6 .	10/05/2023 12:01	1,2	1,4	0,02	31,05	1,57	0	32,64	13,70
7 .	10/05/2023 12:03	0,9	1,0	0,01	32,11	1,57	1	34,69	10,49
8 .	10/05/2023 12:05	0,5	0,5	0,00	31,99	1,57	2	35,56	5,72
9 .	10/05/2023 12:06	0,0	0,0	0,00	32,23	1,57	3	36,80	0,31

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1 .	10/05/2023 11:46	27,8	94,80%	26,36	74,81%	19,7	70,94%	0,384	0,089
2 .	10/05/2023 11:50	26,6	94,77%	25,21	79,18%	20,0	75,04%	0,363	0,094
3 .	10/05/2023 11:54	25,3	94,74%	24,03	80,06%	19,2	76,04%	0,358	0,099
4 .	10/05/2023 11:57	23,8	94,70%	22,55	80,79%	18,2	76,54%	0,356	0,105
5 .	10/05/2023 11:58	22,2	94,54%	20,91	79,94%	16,7	75,29%	0,362	0,112
6 .	10/05/2023 12:01	19,5	94,26%	18,39	74,48%	13,7	70,24%	0,388	0,127
7 .	10/05/2023 12:03	16,9	94,00%	15,89	66,03%	10,5	62,09%	0,439	0,152
8 .	10/05/2023 12:05	13,5	92,42%	12,48	45,81%	5,7	42,35%	0,643	0,229
9 .	10/05/2023 12:06	11,6	91,32%	10,60	2,93%	0,3	2,68%	10,168	3,742

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

	Data ; Hora	v <sub>COLETOR</sub> [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	ΔZ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]	
1 .	10/05/2023 11:46	0,5	-0,29	20,40	1,50	21,61	
2 .	10/05/2023 11:50	0,5	-0,24	19,99	1,50	21,25	
3 .	10/05/2023 11:54	0,4	-0,19	19,38	1,50	20,69	
4 .	10/05/2023 11:57	0,4	-0,15	19,07	1,50	20,42	
5 .	10/05/2023 11:58	0,3	-0,12	18,97	1,50	20,36	
6 .	10/05/2023 12:01	0,3	-0,07	18,56	1,50	19,99	
7 .	10/05/2023 12:03	0,2	-0,04	18,46	1,50	19,93	
8 .	10/05/2023 12:05	0,1	-0,01	17,85	1,50	19,34	
9 .	10/05/2023 12:06	0,0	0,00	17,03	1,50	18,53	

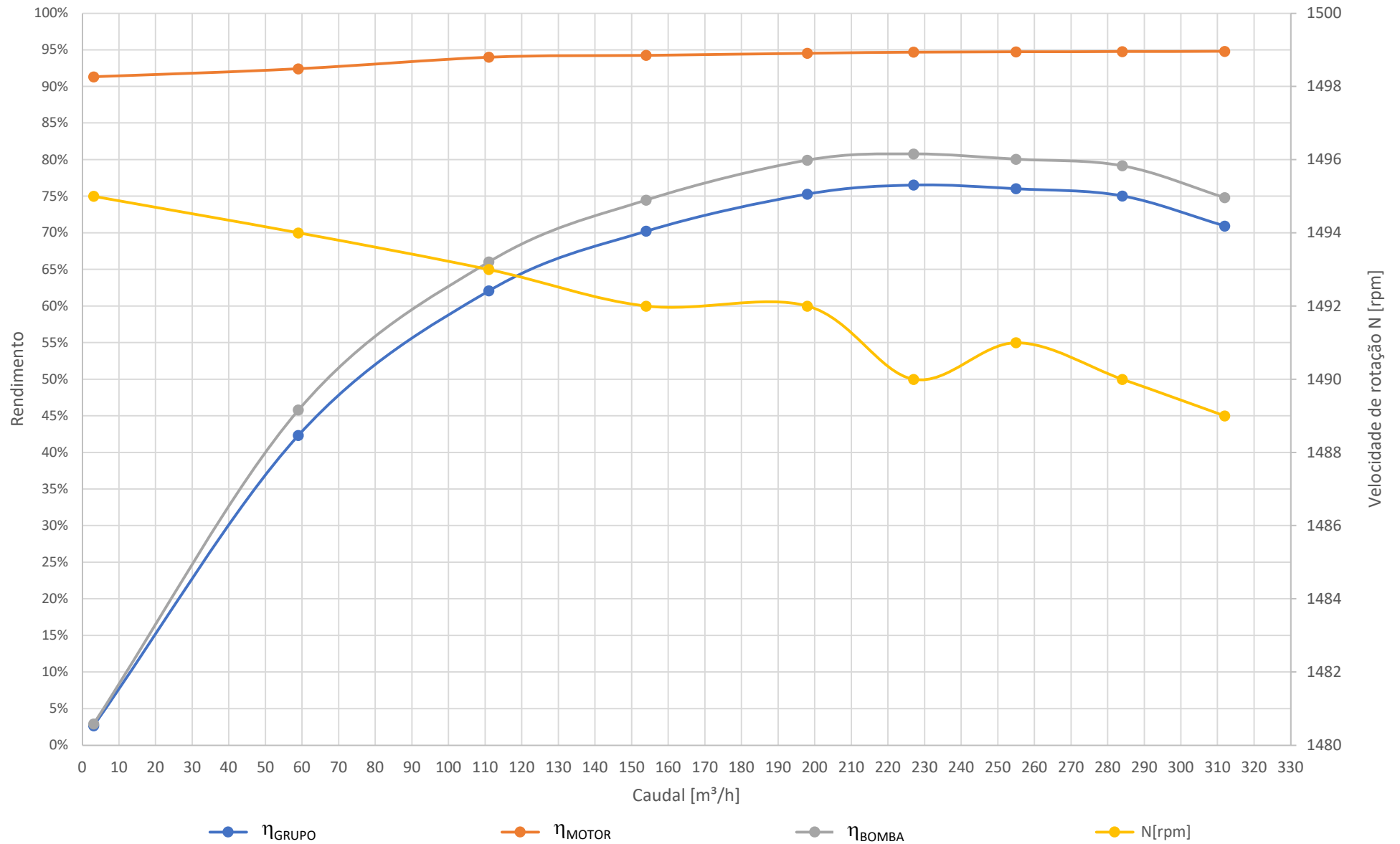
Tabela 4 - Cálculos da instalação

## INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEV	3K220000677947	47828	2019	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	1151 GP7 S12	9427468	40176	1991	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Instrumentos de suporte ao ensaio

Gráfico do rendimento do motor, da bomba e do grupo eletrobomba



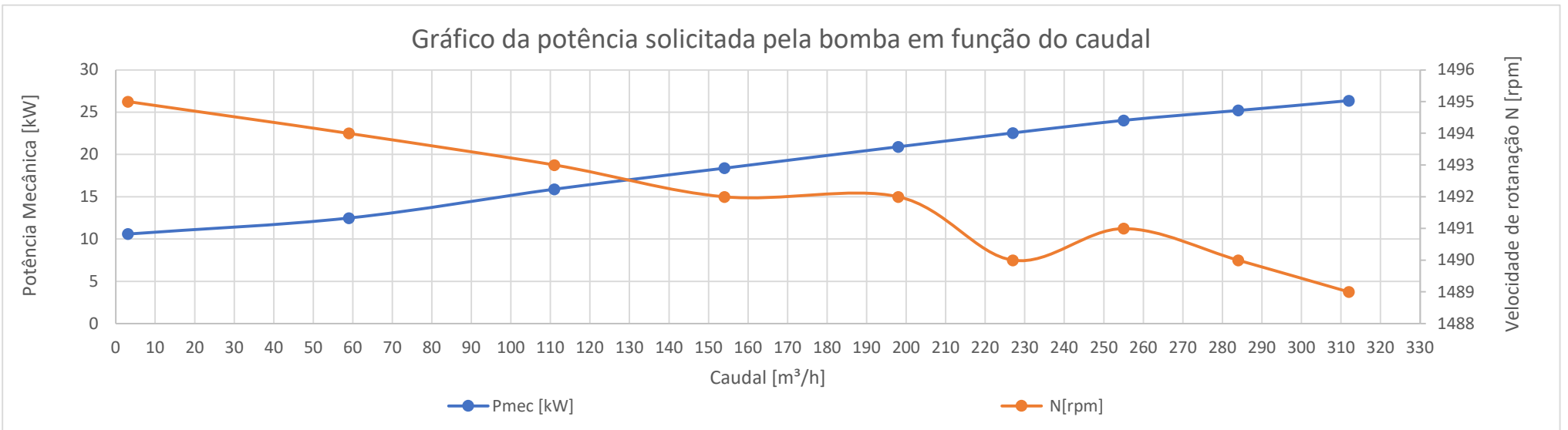
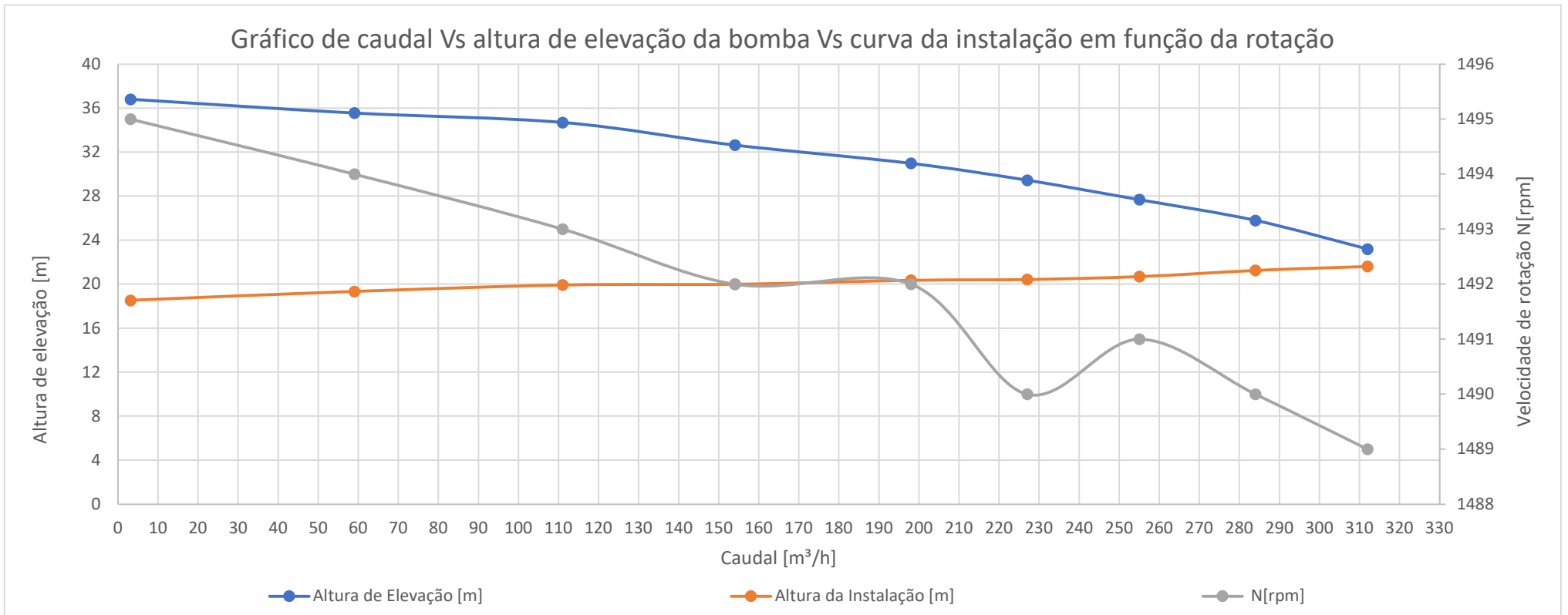
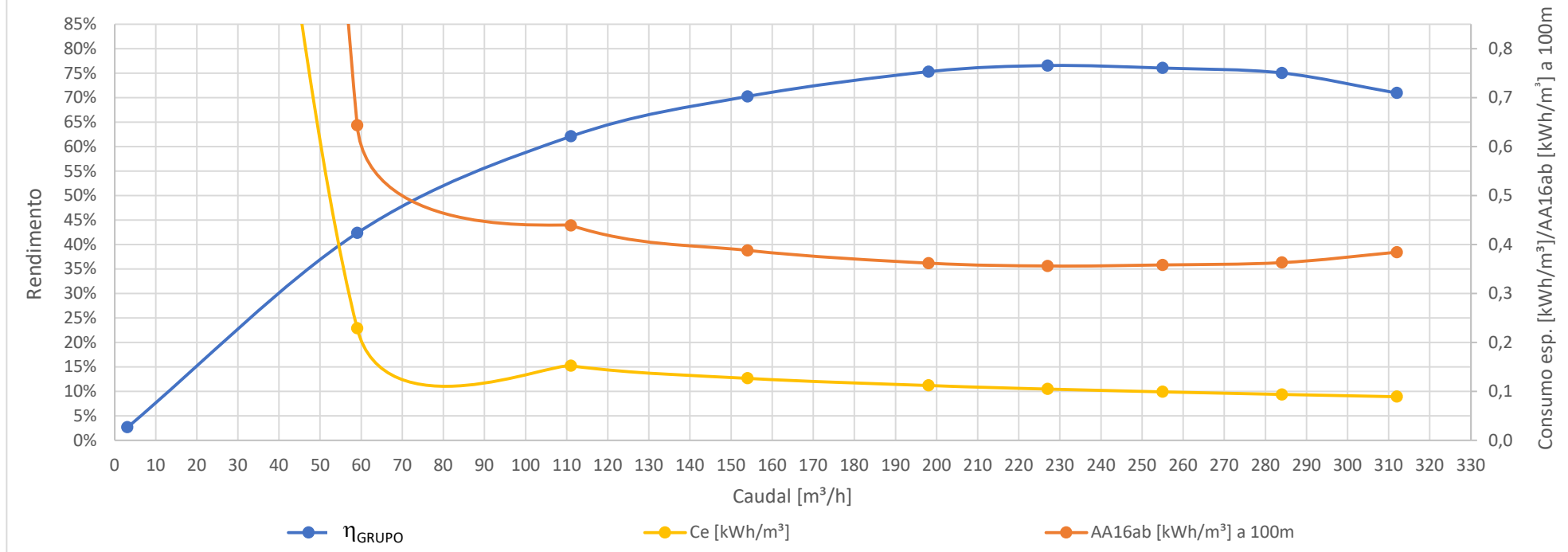


Gráfico do rendimento do grupo eletrobomba Vs consumo específico Vs AA16ab



## OBSERVAÇÕES

Constata-se que, para caudais entre 200 m³/h e 280 m³/h, a bomba antes da intervenção estava a perder 5 pontos percentuais face aos valores de fábrica e após a intervenção ficou a ganhar 5 pontos percentuais face aos valores de fábrica.

Para um grupo de 30 kW consegue-se obter após intervenção de manutenção um valor de rendimento superior a 75% na maioria dos pontos de funcionamento.

A curva da instalação é obtida com base em medidas de pressão a jusante da válvula de regulação com o transmissor de pressão residente na instalação, razão pela qual se admite que a diferença entre o valor de altura da bomba e o valor da instalação se deve a um erro do transmissor de pressão da instalação.

No que diz respeito ao indicador ERSAR AA16ab, foi possível obter valores inferiores a 0,39 kWh/m³ a 100m, sendo que para caudais entre os 200 m³/h e os 280 m³/h este indicador assume valores inferiores a 0,37 kWh/m³ a 100m.

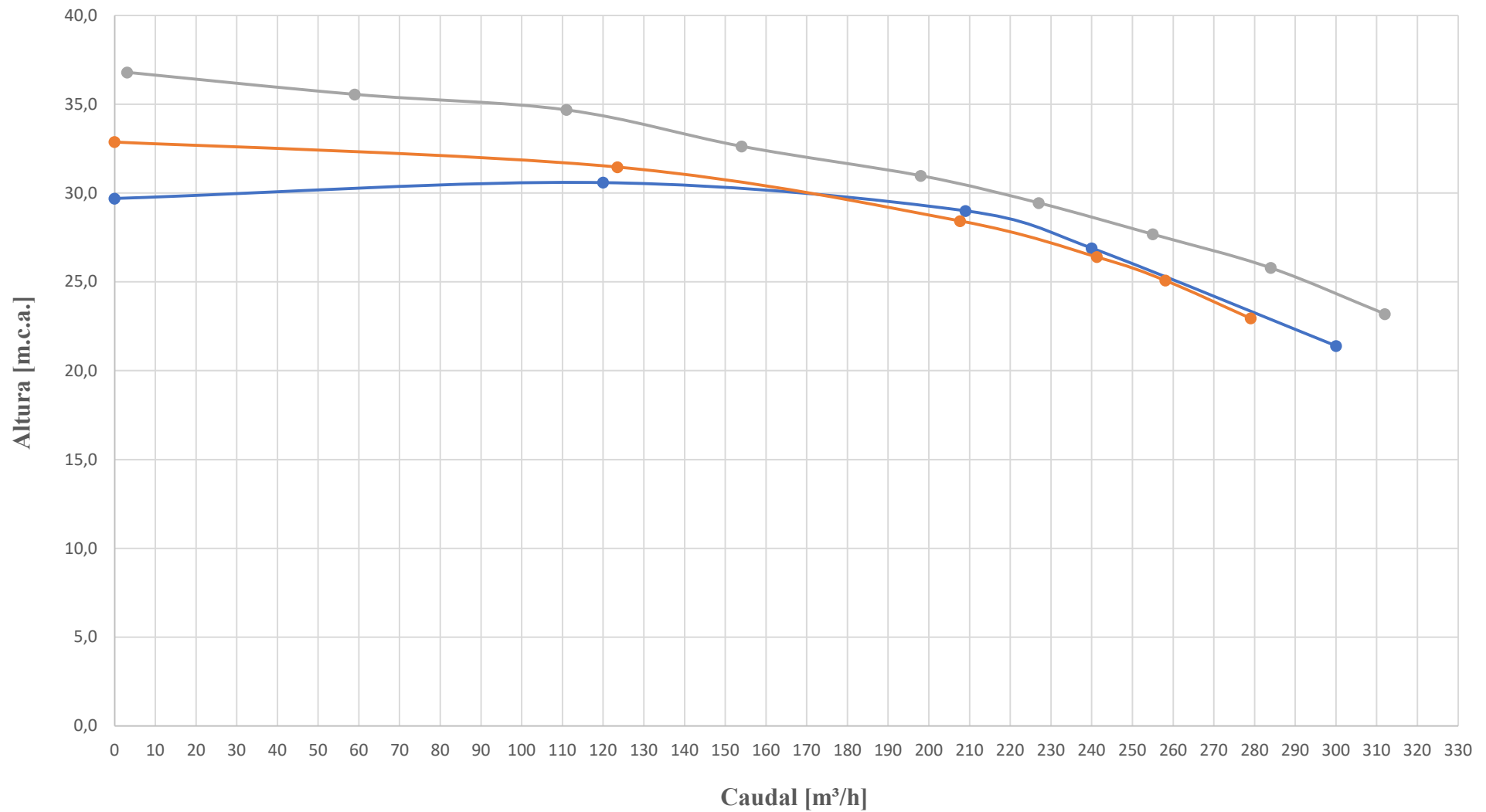


# ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPOS ELETROBOMBA COMPARATIVO HISTÓRICO

<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras	Destino Elev.	Res. Soudos	Grupo	2			
<b>MOTOR</b>	Marca	WEG	Modelo	W22 S. Premium	S/N	1051123805	P [kW]	30
<b>BOMBA</b>	Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125-315	S/N	22843002	Q <sub>n</sub> [m <sup>3</sup> /h]	209
							H <sub>n</sub> [m]	29

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]
0	29,7	279	23,0	312	23,2				
120	30,6	258	25,1	284	25,8				
209	29,0	241	26,4	255	27,7				
240	26,9	208	28,4	227	29,5				
300	21,4	123	31,5	198	31,0				
		0	32,9	154	32,6				
				111	34,7				
				59	35,6				
				3	36,8				

### BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Caudal Vs Altura



● ENSAIO - 0  
ENSAIOS DE FÁBRICA 2002  
MOTOR EFACEC BF5

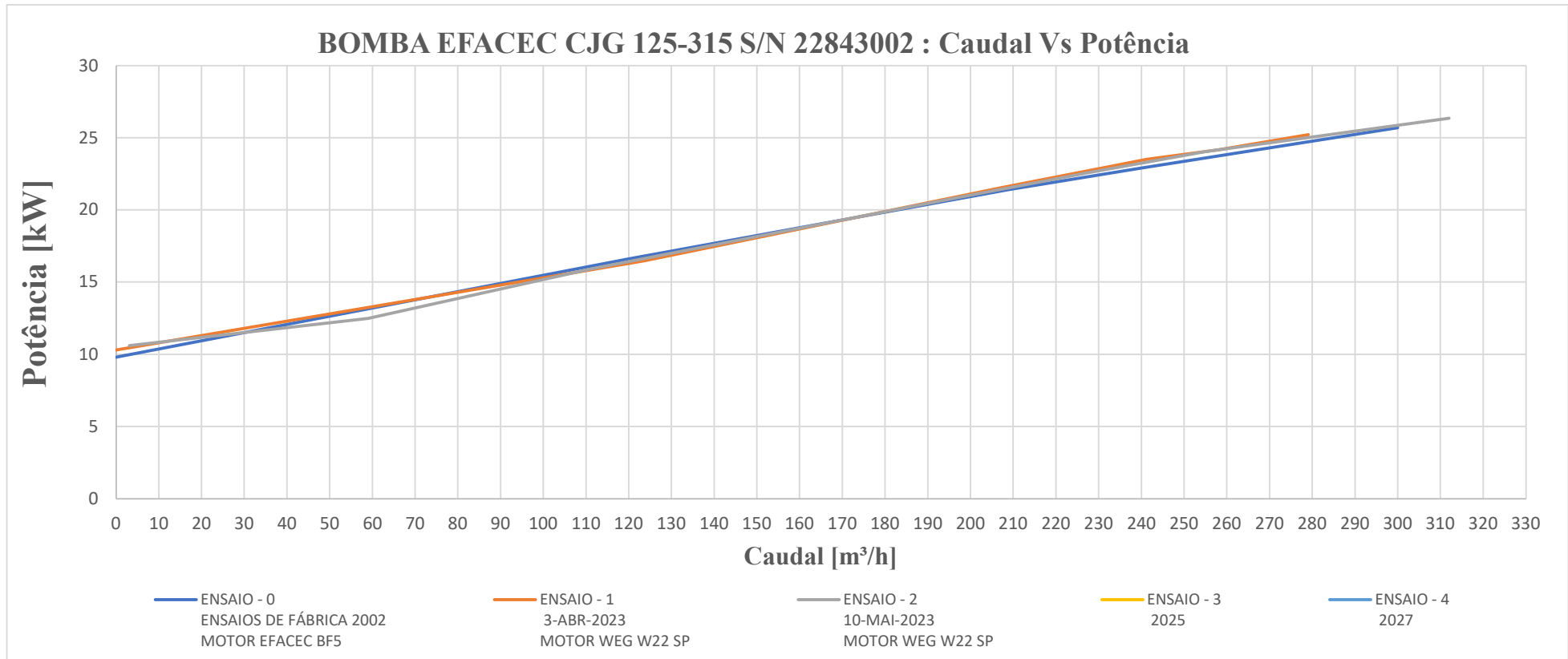
● ENSAIO - 1  
3-ABR-2023  
MOTOR WEG W22 SP

● ENSAIO - 2  
10-MAI-2023  
MOTOR WEG W22 SP

● ENSAIO - 3  
2025

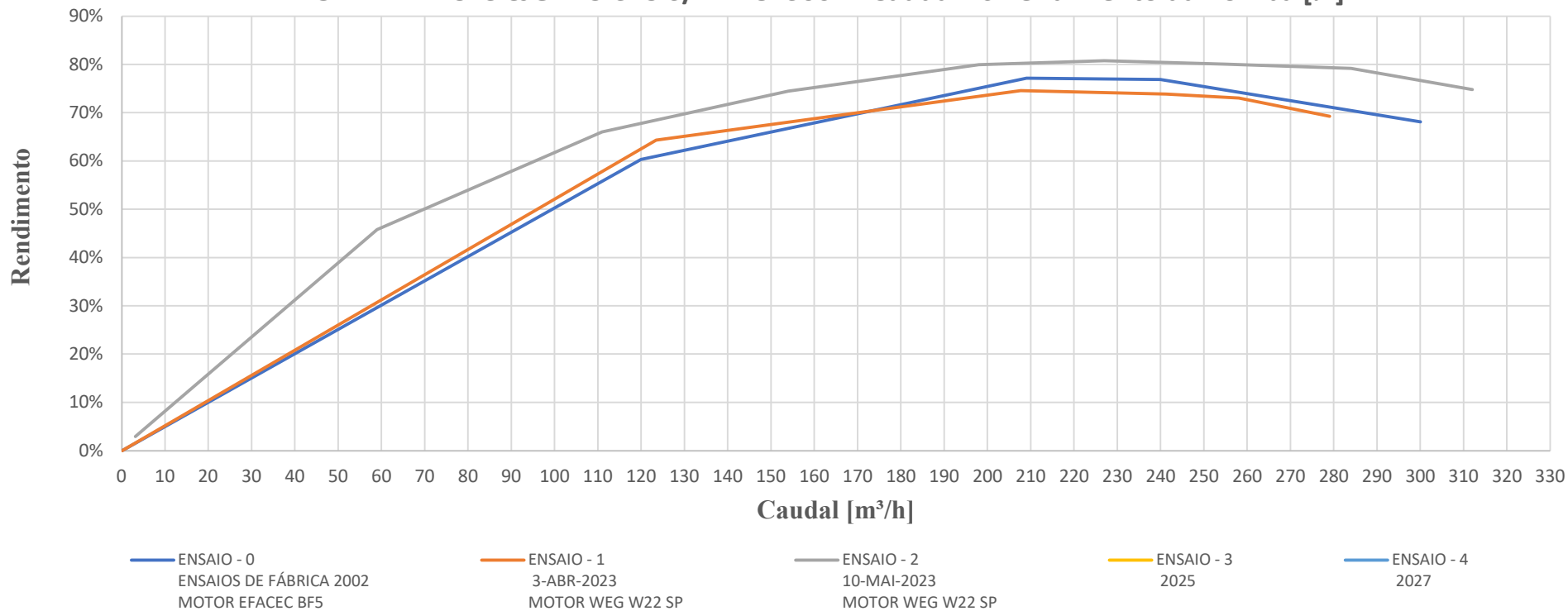
● ENSAIO - 4  
2027

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]
0	9,8	279	25,2	312	26,4				
120	16,6	258	24,2	284	25,2				
209	21,4	241	23,5	255	24,0				
240	22,9	208	21,6	227	22,6				
300	25,7	123	16,5	198	20,9				
		0	10,3	154	18,4				
				111	15,9				
				59	12,5				
				3	10,6				



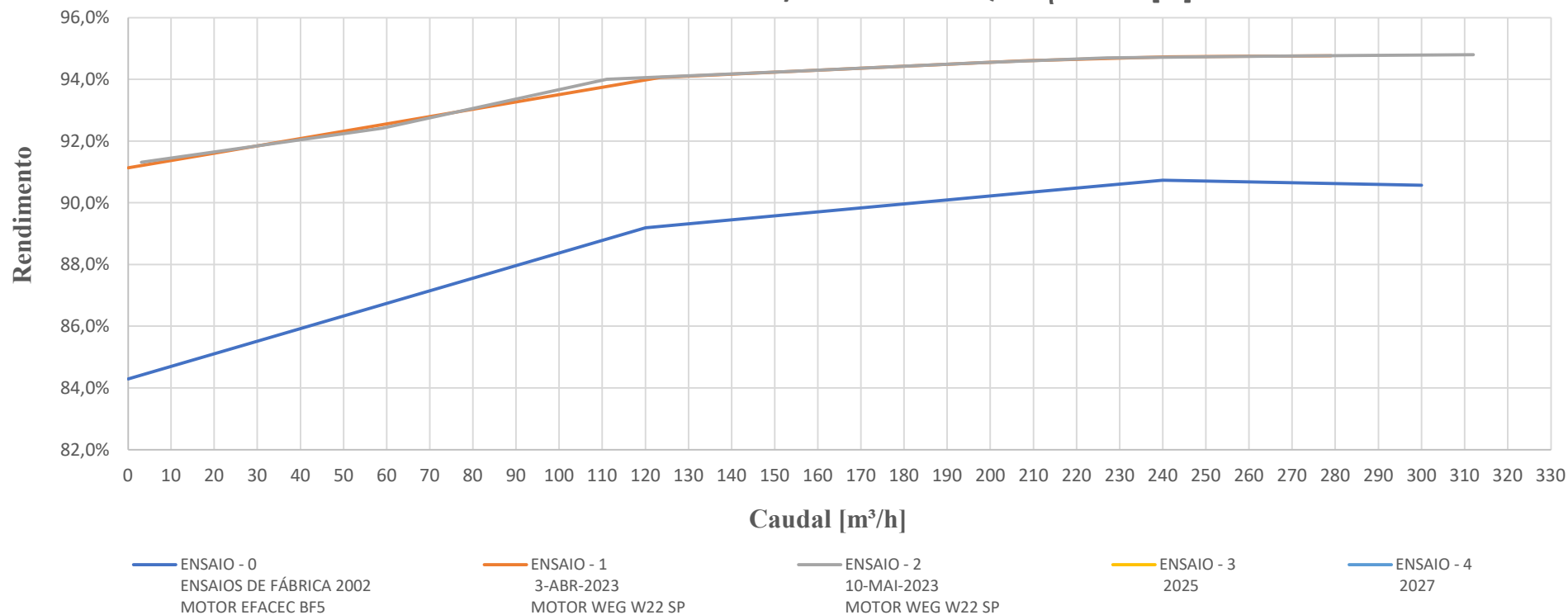
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	279	69,2%	312	74,8%				
120	60,3%	258	73,0%	284	79,2%				
209	77,2%	241	73,9%	255	80,1%				
240	76,9%	208	74,6%	227	80,8%				
300	68,1%	123	64,3%	198	79,9%				
		0	0,0%	154	74,5%				
				111	66,0%				
				59	45,8%				
				3	2,9%				

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Caudal Vs Rendimento da Bomba [%]



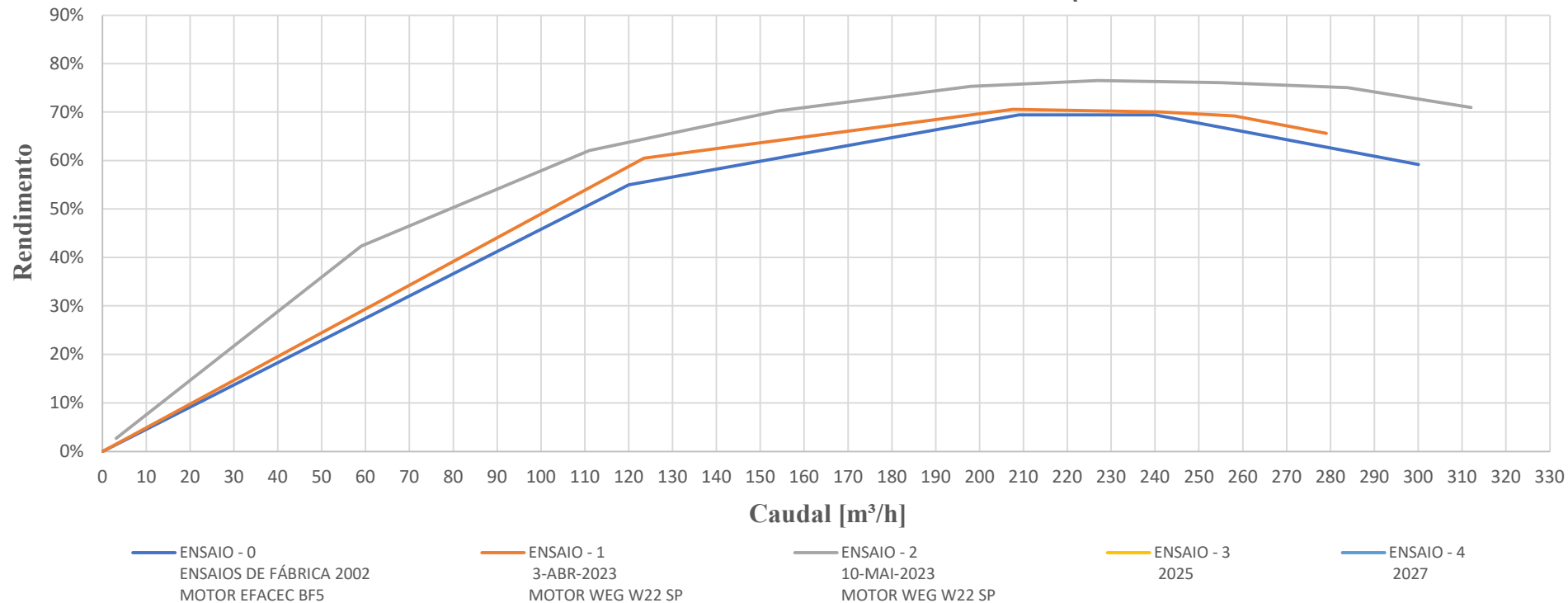
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	84,3%	279	94,8%	312	94,8%				
120	89,2%	258	94,8%	284	94,8%				
209	90,3%	241	94,7%	255	94,7%				
240	90,7%	208	94,6%	227	94,7%				
300	90,6%	123	94,1%	198	94,5%				
		0	91,1%	154	94,3%				
				111	94,0%				
				59	92,4%				
				3	91,3%				

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Q Vs η Motor [%]



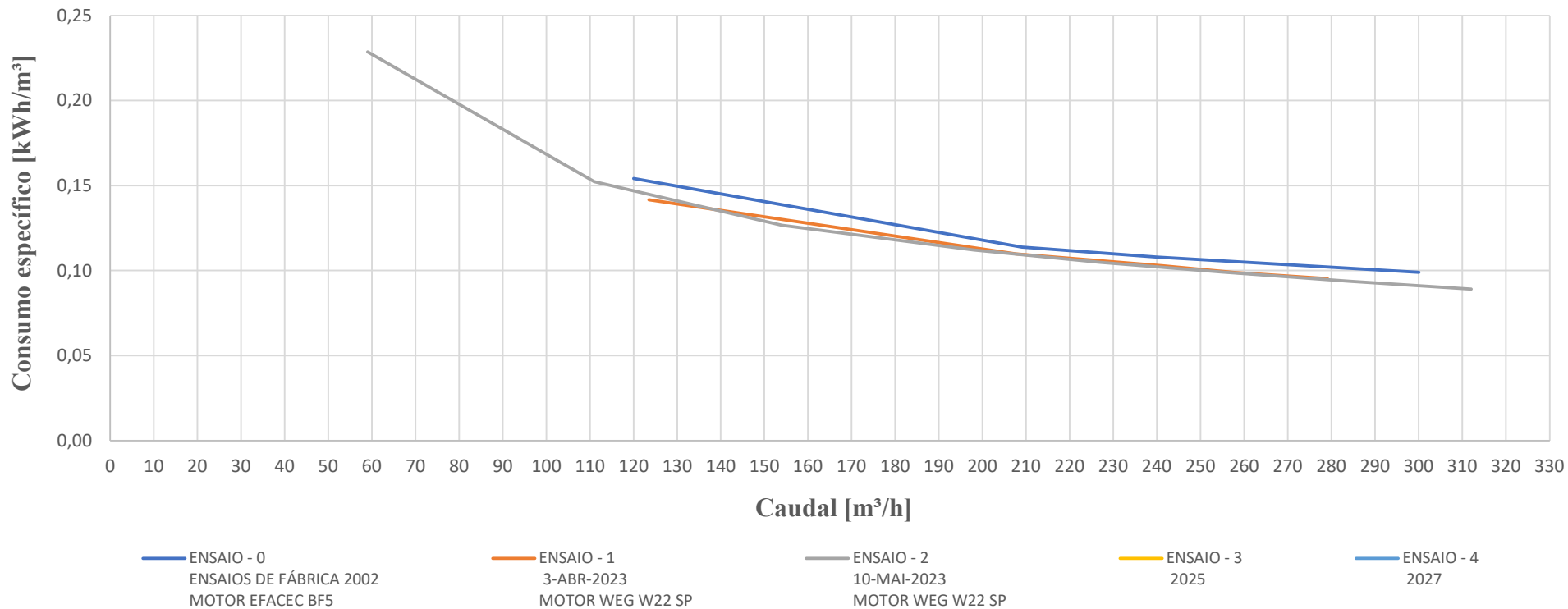
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	279	65,6%	312	70,9%				
120	55,0%	258	69,2%	284	75,0%				
209	69,4%	241	70,0%	255	76,0%				
240	69,4%	208	70,6%	227	76,5%				
300	59,2%	123	60,5%	198	75,3%				
		0	0,0%	154	70,2%				
				111	62,1%				
				59	42,3%				
				3	2,7%				

GRUPO COM BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Q Vs η Grupo Eletrobomba [%]



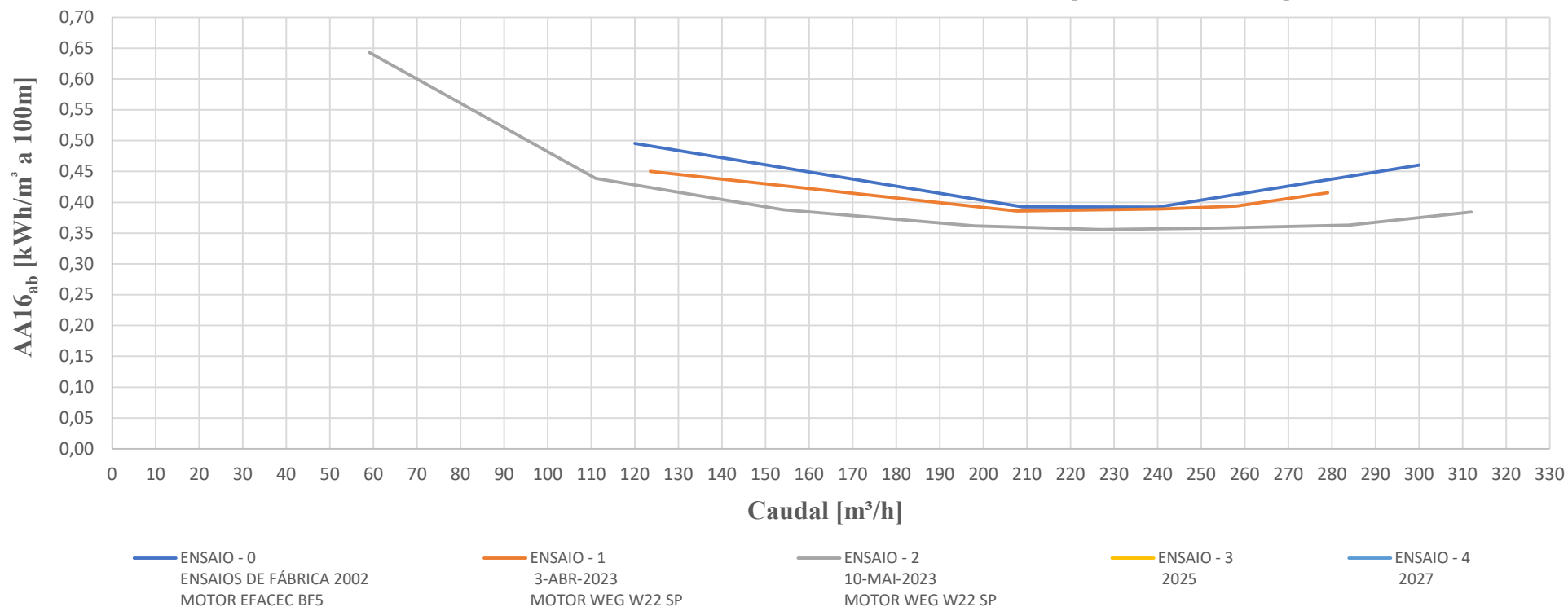
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0		279	0,10	312	0,09				
120	0,15	258	0,10	284	0,09				
209	0,11	241	0,10	255	0,10				
240	0,11	208	0,11	227	0,10				
300	0,10	123	0,14	198	0,11				
		0		154	0,13				
				111	0,15				
				59	0,23				

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs Consumo específico [kWh/m³]



ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]
0		279	0,42	312	0,38				
120	0,50	258	0,39	284	0,36				
209	0,39	241	0,39	255	0,36				
240	0,39	208	0,39	227	0,36				
300	0,46	123	0,45	198	0,36				
		0		154	0,39				
				111	0,44				
				59	0,64				

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs AA16ab [kWh/m<sup>3</sup> a 100m]



## **OBSERVAÇÕES**

Dos ensaios de 3-ABR-2023 para os ensaios de 10-MAI-2023, foi realizada uma intervenção de manutenção na bomba, que incluiu o seu revestimento com produto LOCTITE 7255. O motor sendo já um IE4 com boa fiabilidade (WEG W22 Super Premium IE4) não foi intervencionado.

Salienta-se que este grupo eletrobomba, podendo trabalhar em paralelo com mais dois grupos, tem uma zona de funcionamento relativamente extensa em termos de caudais. É importante a horizontalidade da reta de maiores rendimentos desta bomba, uma vez que refleta um maior intervalo de caudais em que é possível obter consumos específicos reduzidos.

Data 30/mai/23 Responsável Miguel Fernandes

Estação Elevatória Curvaceiras Destino Elev. Res. Soudos Grupo 2

MOTOR Marca WEG Modelo W22 SUPER PREMIUM S/N 1051123805 P [kW] 30

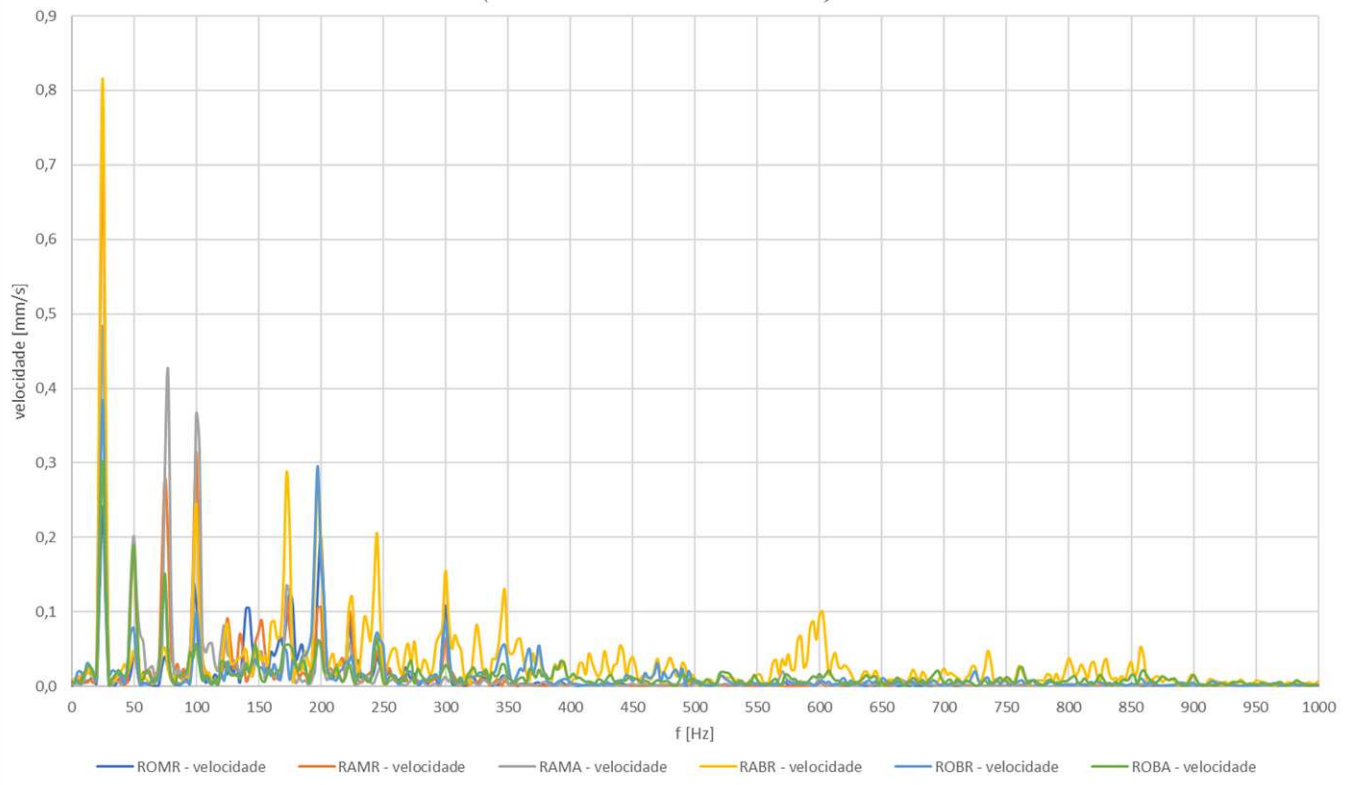
BOMBA Marca EFACEC Modelo CJG 125-315 S/N 22843002  $Q_n$  [m<sup>3</sup>/h] 209  $H_n$  [m] 29

## 1. Velocidade de vibração

(ISO 10816-1) [mm/s]

RMS	ROMR	0,471	mm/s	RAMR	1,003	mm/s	RAMA	0,948	mm/s	0-2,3	2,3-4,5	4,5-7,1	≥7,1
		ROBR	0,646	mm/s	RABR	1,027	mm/s	RABA	0,477	mm/s	0-3,5	3,5-7,1	7,1-11

MOTOR WEG W22 S. PREM. SN 1051123805 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843002  
Velocidade (EE CURVACEIRAS GRUPO 2) - 30MAI2023



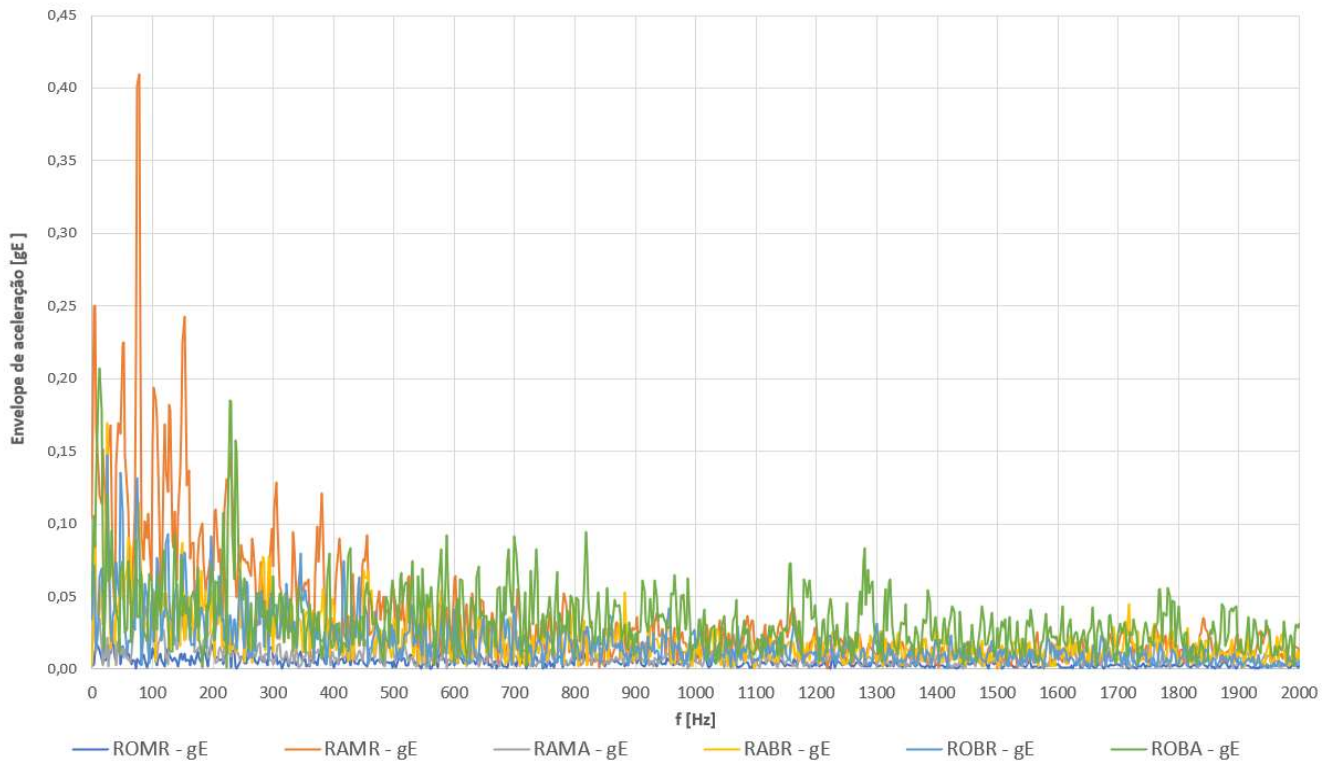
**Siglas:** ROMR - Rolamento oposto motor radial ; RAMR - Rolamento ataque motor radial ; RAMA ; Rolamento ataque motor axial ; RABR - Rolamento ataque bomba radial ; ROBR - Rolamento oposto bomba radial ; ROBA - Rolamento oposto bomba axial.

**Observações** As medidas na bomba foram efetuadas diretamente na caixa de rolamentos enquanto que no motor foram utilizadas as bases existentes para execução de medidas de vibração. As velocidades de vibração registadas, ainda que com valores superiores aos registados antes da intervenção de manutenção, são valores rms de velocidade irrelevantes. Portanto, ao nível de desequilíbrios, desalinhamentos ou folgas, não foram registados quaisquer sintomas que requeram acompanhamento superior ao normal.

## 2. Envelope de aceleração

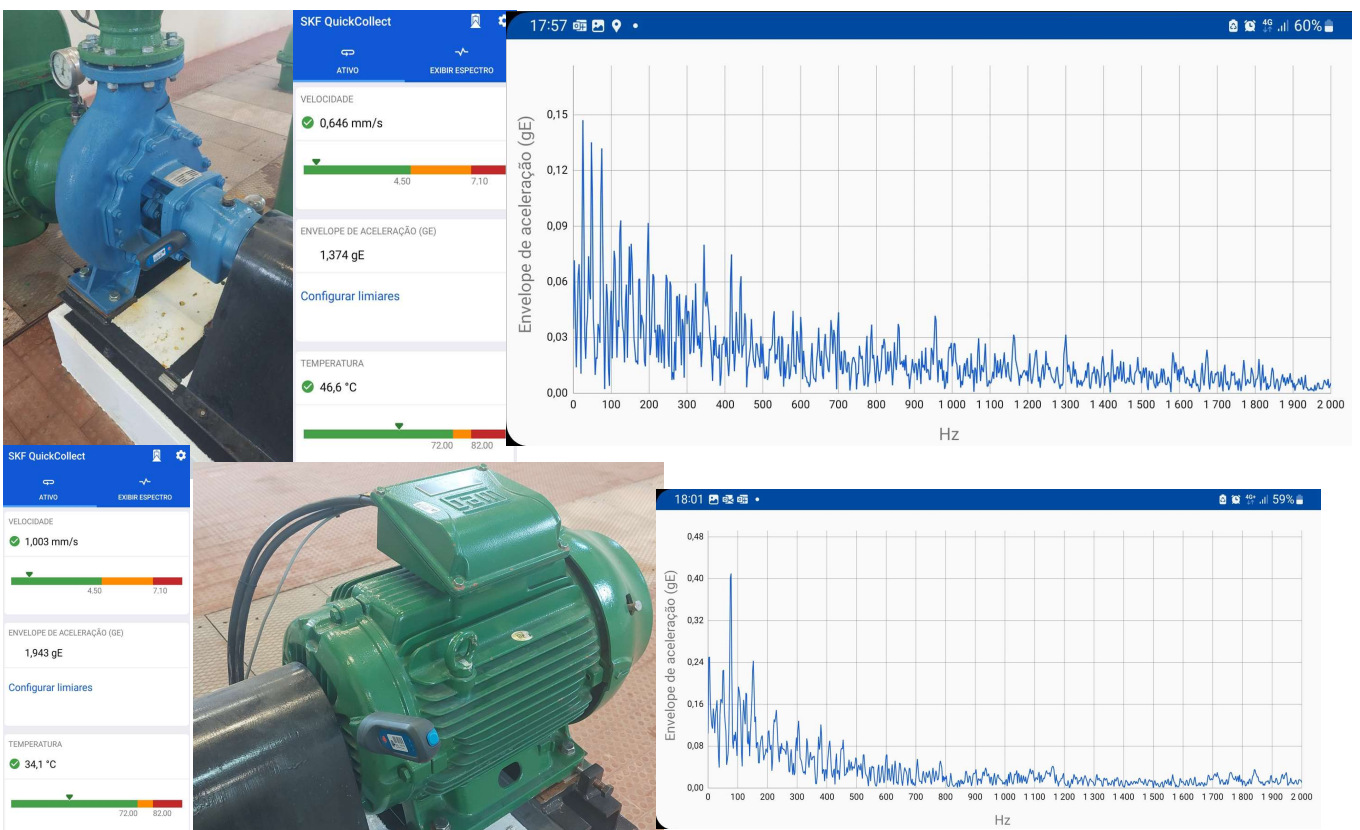
PICO A PICO	ROMR	0,386	gE	RAMR	1,943	gE	RAMA	1,211	gE	(SKF-Envelope de aceleração) [gE] 3000 rpm		
	ROBR	1,374	gE	RABR	2,241	gE	RABA	1,915	gE	<4	4-10	≥10

**MOTOR WEG W22 S. PREM. SN 1051123805 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843002**  
**Envelope de aceleração gE (EE CURVACEIRAS GRUPO 2) - 30MAI2023**



**Observações** O valor pico a pico do envelope de aceleração é reduzido. Quer os valores pico a pico do envelope, quer os valores espectrais coincidem na inexistência de problemas ao nível de rolamentos, cavitação e presença de sólidos no escoamento.

## 3. Fotos do trabalho desenvolvido



**Data** 30/mai/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Curvaceiras **Destino Elev.** Res. Soudos **Grupo** 2

**MOTOR** **Marca** WEG **Modelo** W22 SUPER PREMIUM **S/N** 1051123805 **P [kW]** 30

**BOMBA** **Marca** EFACEC **Modelo** CJG 125-315 **S/N** 22843002 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 209  
**H<sub>n</sub> [m]** 29

**Hora de inspeção** 16h30 - 17h00 **Estabilização térmica** 3h **Regime de carga** 2/3 da carga nominal

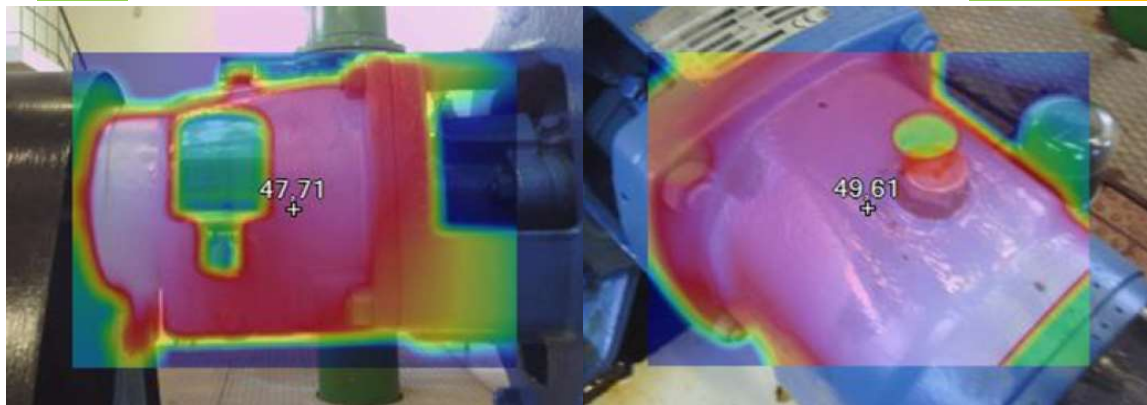
## 1. Bomba - Caixa de rolamentos

1.1 RA 40 °C SKF 3309 A/C3 ISO VG46 IV≥105 2000h

<70°C 70-90°C >90°C

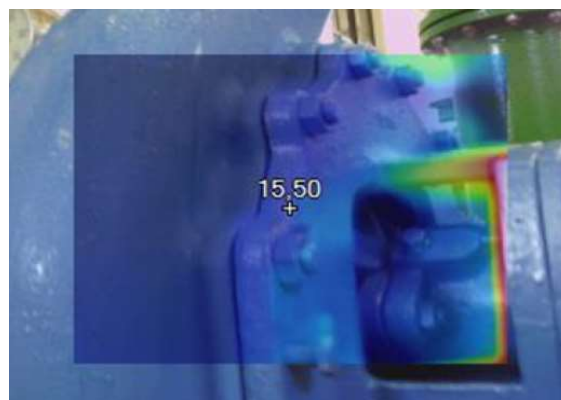
1.2 ROA 48 °C SKF 23NU09 ISO VG46 IV≥105 2000h

<70°C 70-90°C >90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento quer para os rolamentos, quer para o lubrificante.

## 2. Bomba - empanque



**Observações** Sem registo de perda de água nem de aquecimento.

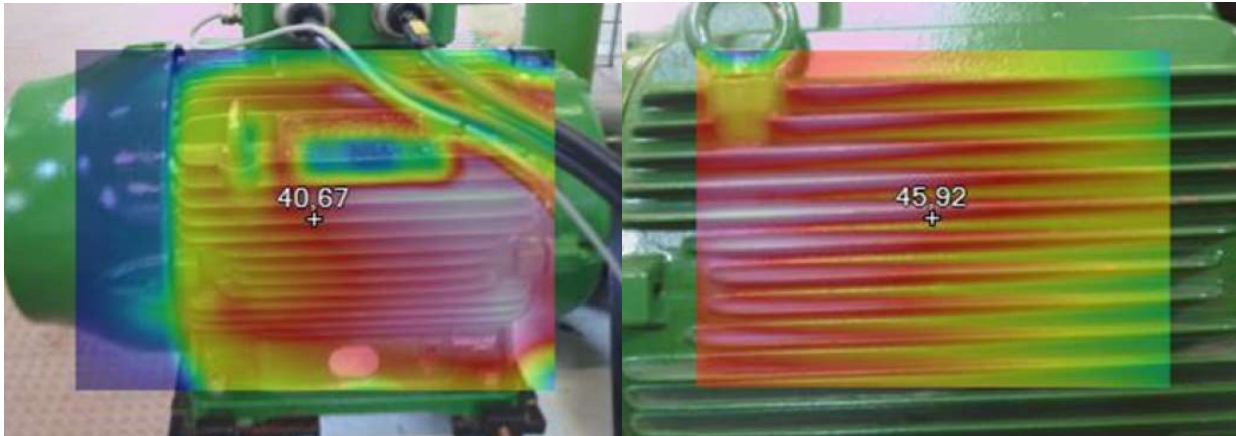
### 3. Motor - carcaça e cablagem

3.1 Cabo de alimentação 30 °C (Isolamento PVC  $T_{m\acute{a}x} < 70^{\circ}C$ )

3.2 Carcaça do motor 46 °C

<60°C	60-70°C	>70°C
<60°C	60-70°C	>70°C

Termistor (PTC) num enrolamento para proteger o motor quando a temperatura atingir os 155 °C



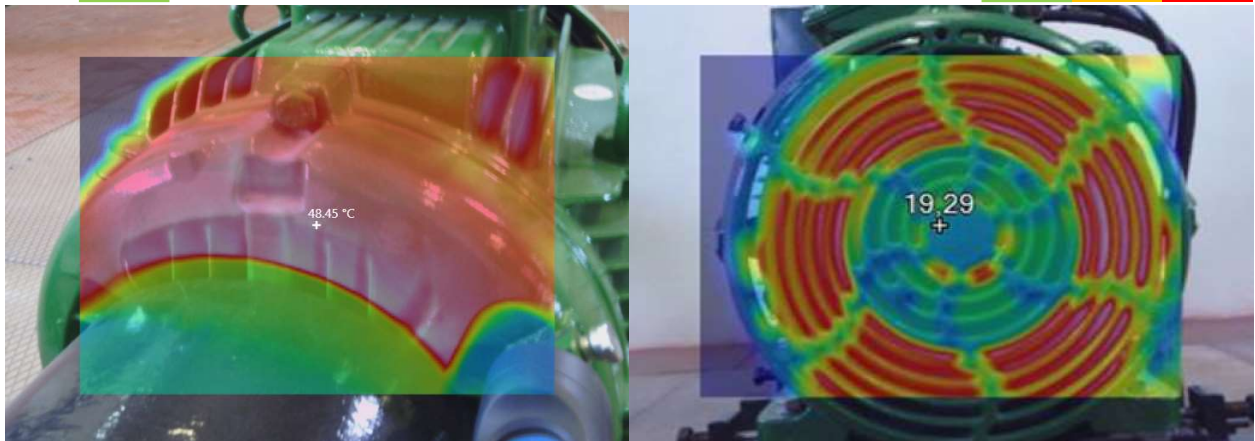
**Observações** Valores normais de temperatura.

### 4. Motor - rolamento ataque e oposto

4.1 RA 50 °C 6312 ZZ C3 (selado - sem relubrificação)

4.2 ROA 30 °C 6212 ZZ C3 (selado - sem relubrificação)

<70°C	70-90°C	>90°C
<70°C	70-90°C	>90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento.

*Em anexo a este registo de inspeção está um relatório elaborado no software Fluke connect com alguma informação adicional sobre a avaliação termográfica.*

# EPAL/ISEL ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE CURVACEIRAS AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA DO GRUPO 2 DE ELEVAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE SOUDOS

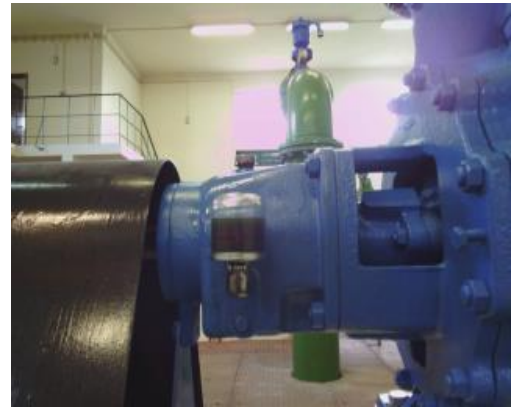
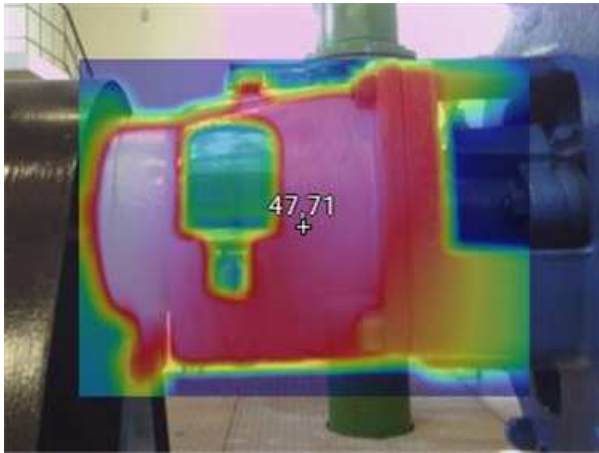
**Sumário:** Em termos de procedimento de ensaio, o grupo electrobomba entrou em exploração às 13h30m, tendo-se aguardado 3h pela sua estabilização térmica. Sendo um grupo de 30kW, a trabalhar a cerca de 2/3 da carga, foi possível recolher informação termográfica representativa da sua condição de funcionamento. As zonas avaliadas são as zonas dos rolamentos na bomba e no motor, havendo ainda foco na carcaça do motor, onde existem perdas térmicas resistivas no estator e no rotor.

## Table of Contents

IR_00279EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2 .....	3
IR_00278EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2 .....	4
IR_00276EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2 .....	5
IR_00277EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2 .....	6
IR_00273EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2 .....	7
IR_00271EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2 .....	8
IR_00269EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2 .....	9
IR_00268EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2 .....	10

## IR\_00279EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

<b>Name</b>	IR_00279EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	15,24 °C até 52,39 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:43:12 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	47,7 °C	47,7 °C	47,7 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00278EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

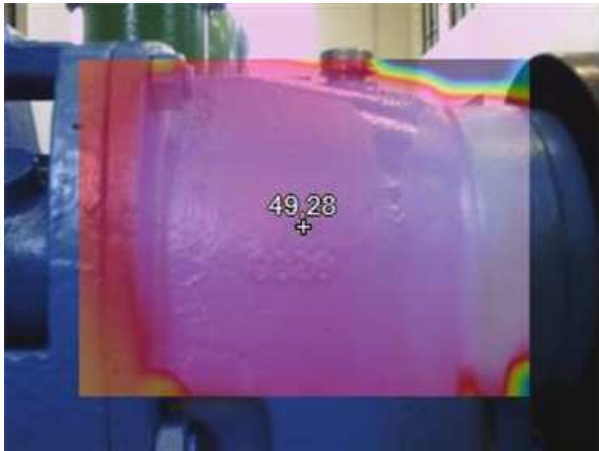
<b>Name</b>	IR_00278EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	14,55 °C até 53,58 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:42:55 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	49,6 °C	49,6 °C	49,6 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00276EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

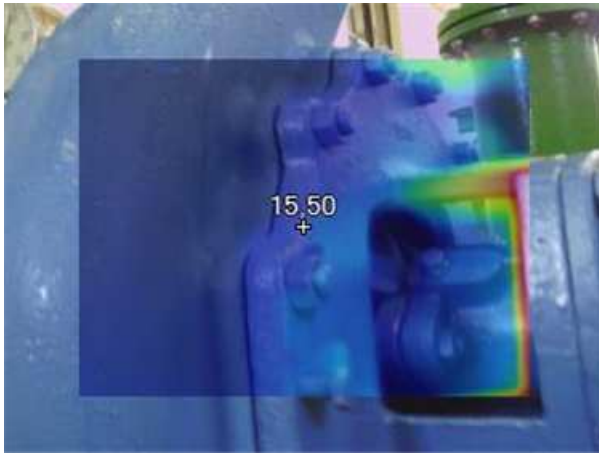
<b>Name</b>	IR_00276EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,09 °C até 52,52 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:42:19 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	49,3 °C	49,3 °C	49,3 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00277EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

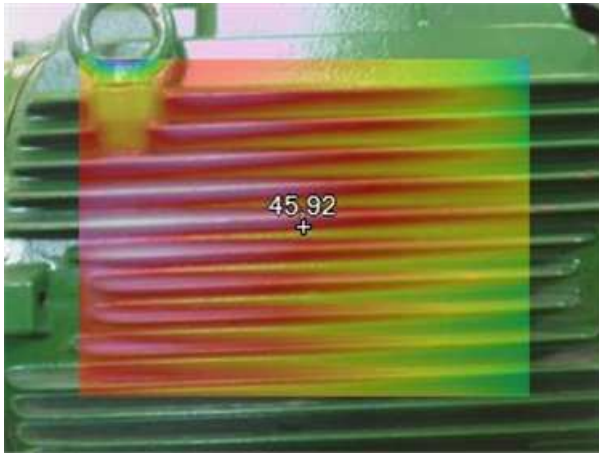
<b>Name</b>	IR_00277EE CUR SOUDOS G2 BOMBA.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	11,55 °C até 42,81 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:42:36 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	15,5 °C	15,5 °C	15,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00273EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

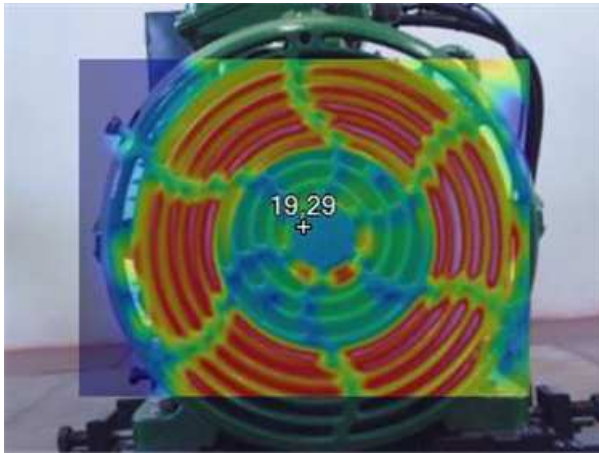
<b>Name</b>	IR_00273EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	33,47 °C até 48,75 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:41:36 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	45,9 °C	45,9 °C	45,9 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00271EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

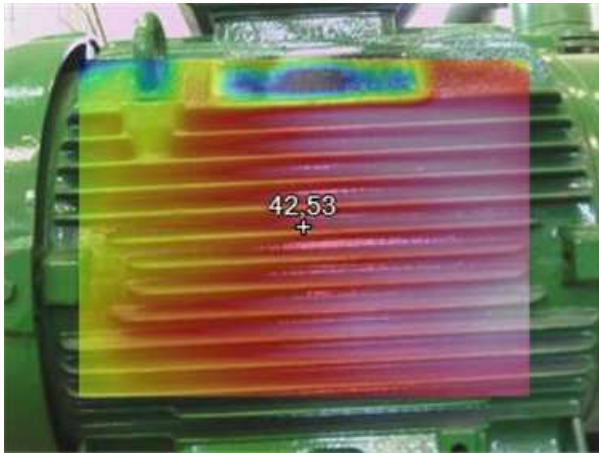
<b>Name</b>	IR_00271EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	16,83 °C até 27,80 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:41:06 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	19,3 °C	19,3 °C	19,3 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00269EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

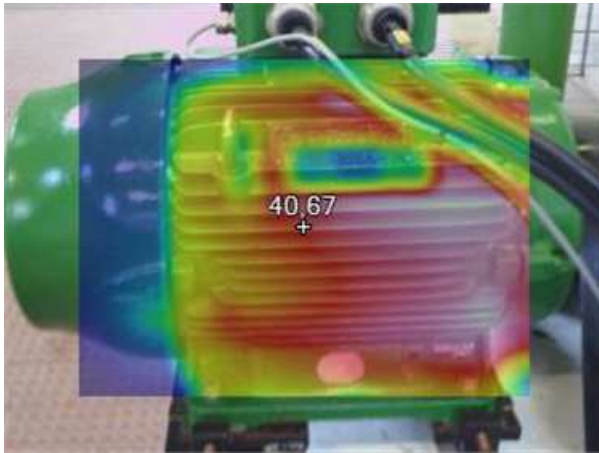
<b>Name</b>	IR_00269EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	22,37 °C até 46,91 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:40:30 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	42,5 °C	42,5 °C	42,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00268EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

<b>Name</b>	IR_00268EE CUR SOUDOS G2 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,08 °C até 45,82 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:40:16 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	40,7 °C	40,7 °C	40,7 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## ANEXO G EE Mad. Gr. 2 – Resumo dos trabalhos de inspeção

- i. INSP 01 – AVALIAÇÃO DE SISTEMA ELEVATÓRIO
- ii. INSP 02-1 – AVALIAÇÃO VIBROMÉTRICA
- iii. INSP 02-2 – AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA
- iv. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO 2
- v. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO 1
- vi. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO 2 CAUDAL CORRIGIDO
- vii. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO 1 CAUDAL CORRIGIDO
- viii. INSP 03-2 – COMPARATIVO HISTÓRICO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- ix. INSP 04 – AVALIAÇÃO ABERTURA DE BOMBA
- x. INSP 05 – AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE BOMBAS
- xi. INSP 06 – REGISTO DA MONTAGEM DA BOMBA
- xii. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- xiii. INSP 03-2 – COMPARATIVO HISTÓRICO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- xiv. INSP 02-1 – AVALIAÇÃO VIBROMÉTRICA
- xv. INSP 02-2 – AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA

Data: seg 03/04/2023 Responsável: Miguel Fernandes

Tipo de Montagem: HORIZONTAL

Fluido: Água Potável ( 5°C ≤ T ≤ 25°C )

## 1. Caracterização da Instalação

1.1 Sistema	Castelo do Bode		1.9 Altitude [m]	78	1.18 Manobrabilidade de órgãos	100%
1.2 Subsistema	Médio Tejo Norte		1.10 Alim. Energia Elétrica	MT	1.19 Ventilação forçada	Inexistente
1.3 Designação	EE Madeiras		1.11 Σ P instalada (F <sub>motriz</sub> ) [kW]	90	1.20 Climatização	Inexistente
1.4 Coordenadas	N 39°28'45.1"	W 8°21'35.9"	1.12 Nº Grupos Electrobomba	2	1.21 Meio de elevação de cargas	Sim
	39.479202	-8.359957	1.13 Nº Patamares Altimétricos	1	1.22 Volume [m³]	437,5
1.5 Dimensão da Nave (CxLxH) [m]	12,5 x 7 x 5		1.14 Σ P disponível [kW]	45	1.23 Paredes [m²]	195
1.6 Condutibilidade paredes [W/m²°C]	-		1.15 Σ P térmica [kW]	2,3	1.24 Cobertura [m²]	87,5
1.7 Condutibilidade cobert. [W/m²°C]	-		1.16 Zona climática de Inverno	I2 (RCCTE)		
1.8 Área de vãos envidraçados [m²]	4		1.17 Zona climática de Verão	V3 (RCCTE)		

Observações: Esta estação elevatória é constituída por 2 grupos de elevação para o reservatório de Alto de D. Luís que funcionam num sistema 1+1. A estação elevatória tem uma implantação parcialmente enterrada que permite uma melhoria significativa da temperatura de trabalho. Atendendo à zona climática onde se insere a instalação, é aconselhável a monitorização de temperatura, como forma de acompanhamento e tomada de decisão na melhoria das condições de humidade e temperatura na instalação. A estação elevatória partilha o mesmo espaço da câmara de manobras do reservatório e com o próprio reservatório havendo assim uma condição atmosférica propícia à degradação dos elementos metálicos. A etapa de desinfeção com hipoclorito e o gerador de emergência também partilham o mesmo espaço, acentuando a probabilidade de ocorrência de eventos que degradem os aparelhos e órgãos da instalação.

## 2. Caracterização montagem mecânica

2.1 Válvula seccionamento aspiração	Sim	2.13 Válvula retenção	Sim	2.22 Parafusos		2.29 P1 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	1,061
2.2 Tipo de válvula	Cunha	2.14 Tipo	Charneira	2.23 Categoria	8.8	2.30 P1 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,061
2.3 DN	250	2.15 Medidor de caudal	Sim	2.24 Tamanho	-	2.31 P2 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	1,245
2.4 PN	10	2.16 Tipo medidor	Electromagnético	2.25 Material	Aço	2.32 P2 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,245
2.5 Válvula seccionamento compressão	Não	2.17 ΔP do medidor de caudal [mbar]	<250	2.26 Revestimento	Galvan.	2.33 P3 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	-
2.6 Tipo de válvula		2.18 DN compressão [mm]	250	2.27 Porca	Sim	2.34 P3 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	-
2.7 DN		2.19 DN aspiração [mm]	250	2.28 Ventusa aspiraç.	Não	2.35 Δ(D/d) [mm]	2,00
2.8 PN		2.20 Cone de redução (Dxd)	250 x 125	2.29 Ventusa comp.	Não		
2.9 Válvula motorizada compressão	Sim	2.21 Tipo de cone	Excêntrico	2.30 Junta de acoplamento	Borracha com alma de aço		
2.10 Tipo de válvula	Borboleta						
2.11 DN	250						
2.12 PN	10						

Observações: A montagem mecânica não inclui uma válvula de seccionamento por grupo diferente da válvula motorizada de compressão e não inclui ventusa para purgar de ar no ponto de maior cota do circuito hidráulico. A purga do circuito é efetuada manualmente desmontando o manómetro da compressão. A válvula de compressão motorizada tem um diâmetro muito grande para o caudal dos grupos, razão pela qual não auxilia a transferência progressiva de carga para o motor. Cones excêntricos na aspiração das bombas, velocidades inferiores a 2m/s na aspiração são boas práticas que contribuem para evitar a degradação prematura e consequente indisponibilidade do grupo. **A velocidade de escoamento na curva DN100 de compressão (a montante do cone DN100-DN250) excede 3m/s, devendo proceder-se a uma alteração deste circuito hidráulico.** Para o medidor de caudal, sendo DN250, apresenta uma velocidade de escoamento de 0,5 m/s com 90 m³/h, valor a partir do qual o fabricante assegura menores erros de medição. Deve-se atender a esta realidade nas avaliações e considerações para caudais inferiores a 90 m³/h. A válvula de retenção de charneira fecha muito lentamente e não é a mais indicada para o isolamento do transitório hidráulico. Atendendo à reduzida extensão da conduta, poderá não traduzir-se num problema. Para além do ponto nominal de funcionamento está a ser considerado nesta avaliação, um segundo ponto correspondente ao caudal de 220 m³/h que é aproximadamente o valor de caudal máximo a que o grupo poderá funcionar na EE de Madeiras.

## 3. Caracterização da montagem do grupo (maciço e chassis)

3.1 Material do maciço	Betão armado	3.5 Fixação do chassis	Chumb./Pernos	3.8 Nº de parafusos	-
3.2 Dimensão do maciço (CxLxH) [mm]	1510 x 710 x 240	3.6 Nº pernes	6	3.9 Tamanho dos parafusos	-
3.3 Material do chassis	Aço	3.7 Diâmetro pernes	16	3.10 Nº de Porcas	6
3.4 Dimensão do chassis (CxLxH) [m]	1330 x 600 x 140	3.11 Tamanho das porcas	24		

Observações: Chassis fixo com chumbadores ao betão armado, sem indícios visuais de degradação (sem fissuração nem oxidação). O chassis está fixo ao maciço não estando preenchido no seu interior.

## 4. Caracterização da bomba

4.1 Marca	RITZ	4.11 N. Série	2321261 02	4.21 Modelo	100-400.2F	4.32 Flange compressão	DIN 2543	4.42 Empanque	Mecânico
4.2 Corpo	Ferro Fundido	4.12 Massa [kg]	-	4.22 Flange Aspiração	DIN 2543	4.33 DN [mm]	100	4.43 P1 [m³/h]	187,5
4.3 Q <sub>nominal</sub> [m³/h]	187,5	4.13 P <sub>1</sub> [m.c.a.]	>11	4.23 DN [mm]	125	4.34 PN [bar]	16	4.44 P2 [m³/h]	220
4.4 H <sub>nominal</sub> [m]	50,6	4.14 P <sub>2</sub> [m.c.a.]	>15	4.24 PN [bar]	16	4.35 Número de furos	8	4.45 P3 [m³/h]	-
4.5 D <sub>1</sub> [mm]	125	4.15 D <sub>1</sub> [mm]	250	4.25 Número de furos	8	4.36 D <sub>furos</sub> [mm]	23		
4.6 D <sub>2</sub> [mm]	100	4.16 D <sub>2</sub> [mm]	250	4.26 D <sub>furos</sub> [mm]	18	4.37 L <sub>centro furação</sub> [mm]	285		
4.7 A <sub>1</sub> [mm²]	12272	4.17 A <sub>1</sub> [mm²]	49087	4.27 L <sub>centro furação</sub> [mm]	210	4.38 Rolamento ataque	3309 A/C3		
4.8 A <sub>2</sub> [mm²]	7854	4.18 A <sub>2</sub> [mm²]	49087	4.28 N [rpm]	1500	4.39 Tipo	Esferas		
4.9 v <sub>1</sub> [m/s]	4,24	4.19 v <sub>1</sub> [m/s]	1,06	4.29 Impulsor (tipo)	Fechado	4.40 Rolamento oposto	2309NU		
4.10 v <sub>2</sub> [m/s]	6,63	4.20 v <sub>2</sub> [m/s]	1,06	4.30 Impulsor (material)	Bronze	4.41 Tipo	Rolos		
				4.31 Impulsor D [mm]	301				

Observações

**CONVENÇÃO: Montante da bomba: Índice 1 ;  
Jusante da bomba: Índice 2 ;  
Junto às flanges da bomba: Índice com ' ;  
Do lado do cone de maior diâmetro: Índices sem ' .**

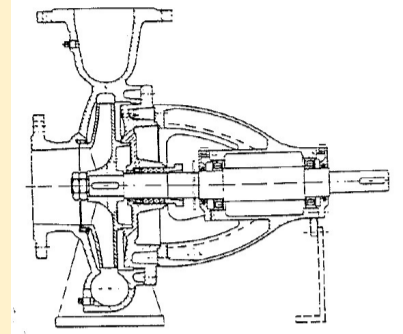
Corpo (Material): FF - (DIN GG-25) ou (ASTM A48 CLASS 35)

Impulsor (Material): Bronze - (DIN G-CuSn)

Veio (Material): (DIN x20Cr13) ou (AISI TP 420)

Caixa de rolamentos: FF - GG20

Chaveta: AISI TP316TI



## 5. Caracterização hidráulica

5.1 Q <sub>máx</sub> esperado [m³/h]	220	5.9 Q <sub>operação P1</sub> [m³/h]	220	5.16 Tipo de Aspiração	Positiva
5.2 Q <sub>min</sub> esperado [m³/h]	180	5.10 H <sub>operação P1</sub> [m]	47	5.17 Sistema de Ferra	Não
5.3 Q <sub>ótimo</sub> [m³/h]	187,5	5.11 Q <sub>operação P2</sub> [m³/h]	-	5.18 Ventusa na aspiração	Não
5.4 Q <sub>máx</sub> admissível [m³/h]	-	5.12 H <sub>operação P2</sub> [m]	-	5.19 Ventusa na compressão	Não
5.5 Q <sub>min</sub> admissível [m³/h]	-	5.13 Q <sub>operação P3</sub> [m³/h]	-		
5.6 H <sub>ótimo</sub> [m]	50,6	5.14 H <sub>operação P3</sub> [m]	-		
5.7 H <sub>projeto</sub> [m]	-	5.15 P <sub>c</sub> máx [bar]	2,89		

Observações

As operações de carga e descarga do circuito hidráulico da bomba são muito importantes, a **inexistência de uma ventusa no ponto mais alto deve ser corrigida**, visando possibilitar a entrada de ar ou a retirada de ar em todo o circuito hidráulico.

Na aspiração não existem órgãos que possibilitem indevidamente a entrada de ar para o interior da conduta, que seria muito prejudicial para o funcionamento da bomba. O ponto de funcionamento adequa-se à curva característica da bomba.

## 6. Caracterização da conduta

6.1 Material	PRFV	6.7 Nº descargas	2	6.9 Pto. Inicial	N	39.479057	W	-8.360123
6.2 Extensão L [m]	882	6.8 DN Descargas [mm]	DN80	6.10 Pto. Final	N	39.484277	W	-8.366506
6.3 DN [mm]	300	6.8 Nº ventusas	3	6.11 Pto. Inicial - cota [m]	76	6.13 Pto. Final - cota [m]	125,42	
6.4 Volume [m³]	62,3	6.8 DN Ventusas [mm]	DN150	6.3 Interligações	Não	6.4 Nº Interligações	0	
		6.6 Nº válvulas seccionamento	1	6.5 Entrada no reservatório	Por cima			

Observações

Esta conduta com 29 anos de serviço tem um histórico muito reduzido de avarias. Sendo o caudal máximo de cerca de 220 m³/h, o que nesta conduta (DN300) resulta numa velocidade de 0,86 m/s, sendo assim um regime de exploração adequado.

A conduta tem um volume interior reduzido, sendo rápida a sua descarga e o seu carregamento face à autonomia do Reservatório do Alto de Dom Luís.

## 7. Caracterização do motor

7.1 Marca	EFACEC	7.20 s [%]	2,33%	7.21 IP	55	7.28 Altitude máx [m]	1000
7.2 Modelo	BF5 225M44	7.10 Norma fabrico	IEC 34-1	7.22 Classe/Regime de serviço	S1	7.29 IE	-
7.3 Nº série	942305007	7.11 Tensão nominal [V]	400	7.23 Inércia rotor motor [kgm²]	0,2	7.30 Rendimento 1/4 [%]	91
7.4 Alimentação	Trifásico	7.12 Frequência [Hz]	50	7.24 Rolamento ataque	6213-2Z-C3	7.31 Rendimento 2/4 [%]	91,5
7.5 Potência [kW]	45	7.13 Corrente nominal [A]	84,3	7.25 Rolamento oposto	6212-2Z-C3	7.32 Rendimento 3/4 [%]	92
7.6 Nº Pólos	4	7.14 Fator de potência	0,88	7.26 Período de lubrificação [h]	-	7.33 Rendimento 4/4 [%]	-
7.7 Ano Fabrico	1994	7.15 Tipo montagem	B3T	7.27 Monitorização Temperat.	-	7.34 T <sub>máx</sub> serviço [°C]	-
7.8 Massa [kg]	195	7.16 Carcaça	225M	7.28 Resistência anti condensação	Não	7.35 T <sub>min</sub> serviço [°C]	-
7.9 I <sub>a</sub> /I <sub>n</sub>	7,3	7.17 Classe isolamento	155 (F)	7.29 Bases p/ medição vibrações	Sim	7.36 Ruído [dB (A)]	-
7.19 N [rpm]	1465	7.18 ATEX	Não	7.30 Tipo de ventilação	IC411	7.37 Fabrico	PRT

Observações

Este motor com 29 anos apresenta um rendimento máximo de 92% a 4/4 da carga e 91,5% a 3/4 de carga. Existe um potencial de ganho de 3,5 pontos percentuais no rendimento, na substituição por um motor IE4, na zona de trabalho do motor.

## 8. Caracterização do arranque

8.1 Tipo de Arranque(elétrico)	Y-D	8.5 DN válvula [mm]	250
8.2 Modo de Arranque	Válvula fechada	8.6 Inércia rotor motor [kgm²]	0,2
8.3 T <sub>abertura válvula</sub> [s]	44	8.7 Inércia rotor bomba [kgm²]	-
8.4 Tipo válvula	Borboleta		

Observações Existe coordenação entre o temporizador do contactor da passagem de estrela para triângulo e a ordem de abertura da válvula de compressão. Após o motor atingir a velocidade de rotação em vazio, a abertura da válvula não proporciona uma transposição progressiva de carga para o motor por ser demasiado grande e ter uma desmultiplicação reduzida face à velocidade do atuador elétrico. Constata-se que em aproximadamente 3s o grupo faz a variação de caudal mínimo até ao caudal máximo. **A correção deste problema exige que se substitua a válvula de compressão por uma também de borboleta mas com aproximadamente um terço da área de passagem (DN150) e com uma caixa redutora que permita fazer a sua abertura em 60s.**

## 9. Caracterização das Proteções - Elétricas

9.1 Proteção	Disjuntor + Relé	9.4 Calibre [A]	150	9.7 Proteção térmica	Sim
9.2 Tipo	Indireta	9.5 Regulação [A]	80		
9.3 Relé	Sprecher CET 3	9.6 Capacidade de corte [kA]	100		

Observações Este motor está protegido por um relé Sprecher & Schuh CET 3 que assegura a proteção nos seguintes tipos de evento: sobrecarga térmica, perda de fase, defeito à terra, rotor bloqueado, incorreta sequência de fases e subcarga.  
O quadro elétrico da estação elevatória está em adequado estado de conservação, estando as sinalizações e os instrumentos de medida todos a funcionar de modo adequado.

## 10. Caracterização das Proteções - Hidráulicas

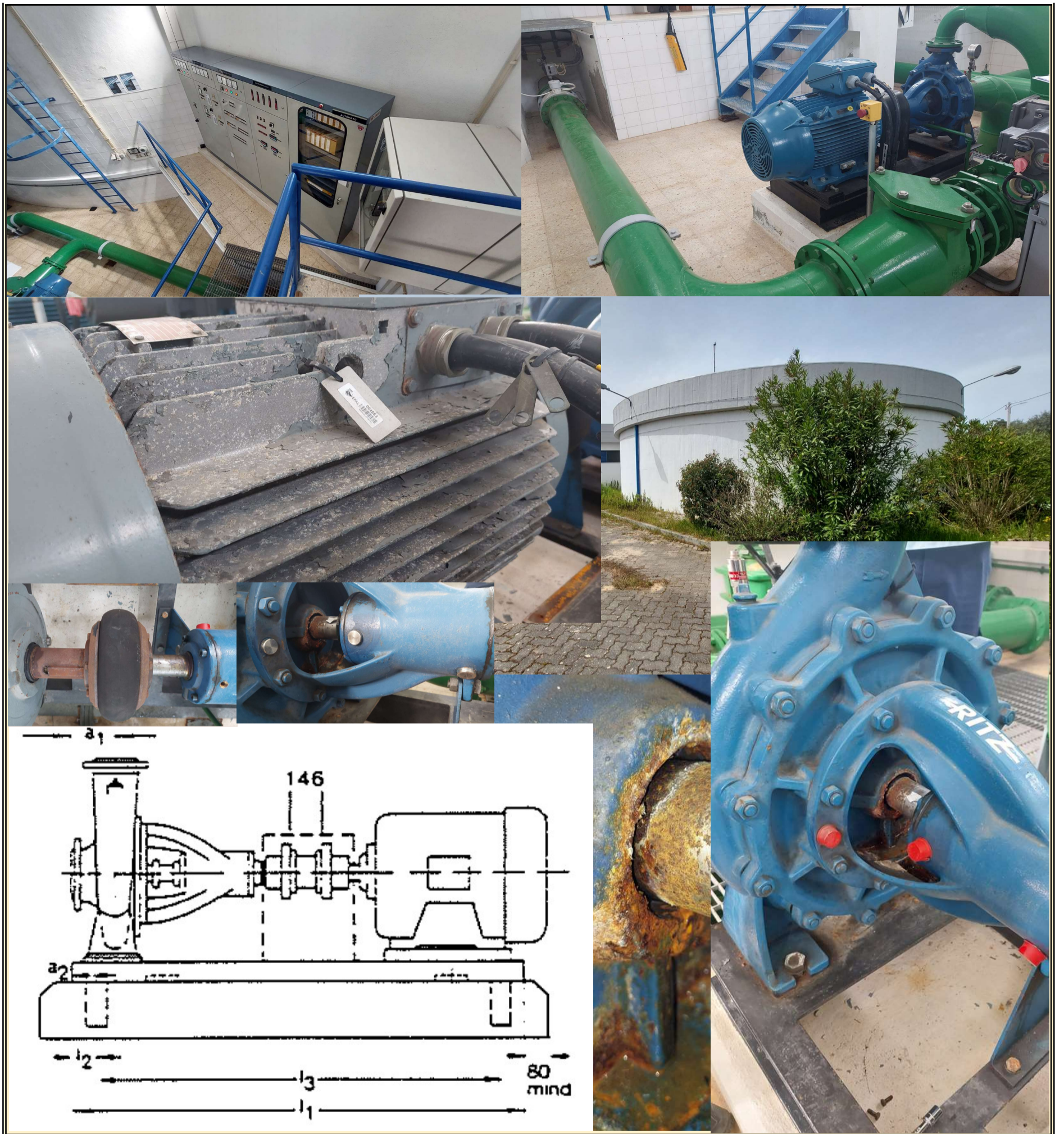
10.1 RAC	Não	10.3 Sistema automático de enchimento		10.7 Pressão aspiração - subpressão	Sim, pressostato.
10.2 RAC [m³]		10.4 Monitorização de pressão		10.8 Pressão compressão - subpressão	Sim, pressostato.
		10.5 Monitorização de nível Ar/água		10.9 Pressão compressão - sobrepressão	Sim, pressostato.
		10.6 Seccionamento		10.10 Sensor válvula seccionamento aspiração - aberta	Sim
		10.7 Válvula de sobrepressão		10.11 Sensor válvula seccionamento compressão - aberta	
				10.12 Sensor válvula compressão - aberta	Sim

Observações As proteções de pressão estão implementadas com lógica cablada, a partir do contactos dos pressostatos, que estão inseridas diretamente no circuito de comando dos grupos electrobomba, tornando a proteção muito eficaz.  
Nesta instalação não existe Reservatório de Ar Comprimido (RAC) para atenuação das ondas de pressão na conduta de compressão durante os transitórios hidráulicos mais severos.  
Existe na caixa de seccionamento da conduta no recinto de Madeiras um hidroscape para atenuação da onda positiva de sobrepressão. **Atendendo a que não existe nenhuma descrição da pressão de regulação desta válvula de alívio, nem do caudal de purga, aconselha-se a que se proceda a uma simulação de transitório hidráulico visando o dimensionamento dos órgãos de proteção tidos como necessários.**

## 11. Caracterização de condições de funcionamento

11.1 Nº máx arranques permitidos [/dia]	-	11.4 Ambiente	-	11.6 Potência ativa [kW]	39,5
11.2 Nº médio de arranques [/dia]	1	11.5 Sinalizações	-	11.7 Fator de serviço	0,808
11.3 Nº pontos de funcionamento	1			11.8 Analisador de energia	Não

Observações A estação elevatória não possui uma sala de comando independente. Os quadros elétricos de potência e os quadros elétricos de comando estão instalados na nave da elevatória que é simultaneamente a câmara de manobras do reservatório. Esta situação não é benéfica para a fiabilidade de toda a aparelhagem elétrica.  
O grupo eletrobomba tem um acoplamento com espessador para facilitar a intervenção na bomba sem que haja necessidade de mexer na posição do motor. Existem instalados conversores de potência ativa da Camile Bauer, com 30 anos de serviço, sendo recomendável a sua substituição por analisadores de energia. Na entrada da instalação, medindo toda a energia consumida, recomenda-se a instalação de um analisador de qualidade de energia, que permita o registo de perturbações provenientes da rede de distribuição de energia elétrica.



**Data** 12/abr/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Madeiras **Destino Elev.** Res. Alto D. Luís **Grupo** 2

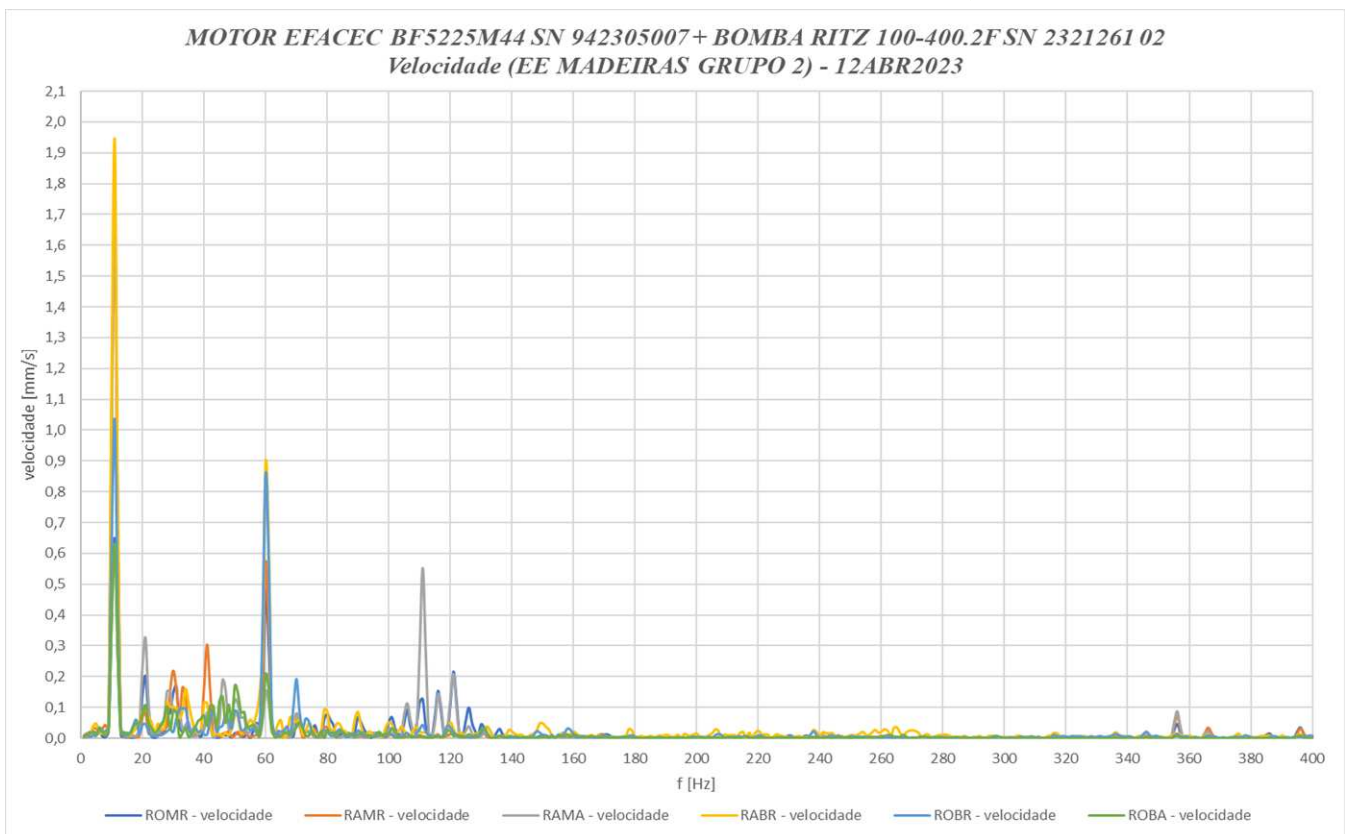
**MOTOR** **Marca** EFACEC **Modelo** BF5225M44 **S/N** 942305007 **P [kW]** 45

**BOMBA** **Marca** RITZ **Modelo** 100-400.2F **S/N** 2321261 02 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 187,5  
**H<sub>n</sub> [m]** 50,6

## 1. Velocidade de vibração

(ISO 10816-1) [mm/s]

RMS	ROMR		RAMR		RAMA		Limites			
	Valor	Unidade	Valor	Unidade	Valor	Unidade	0-2,3	2,3-4,5	4,5-7,1	≥7,1
	1,121	mm/s	1,886	mm/s	1,981	mm/s				
	1,380	mm/s	1,866	mm/s	0,781	mm/s				
							0-3,5	3,5-7,1	7,1-11	≥11



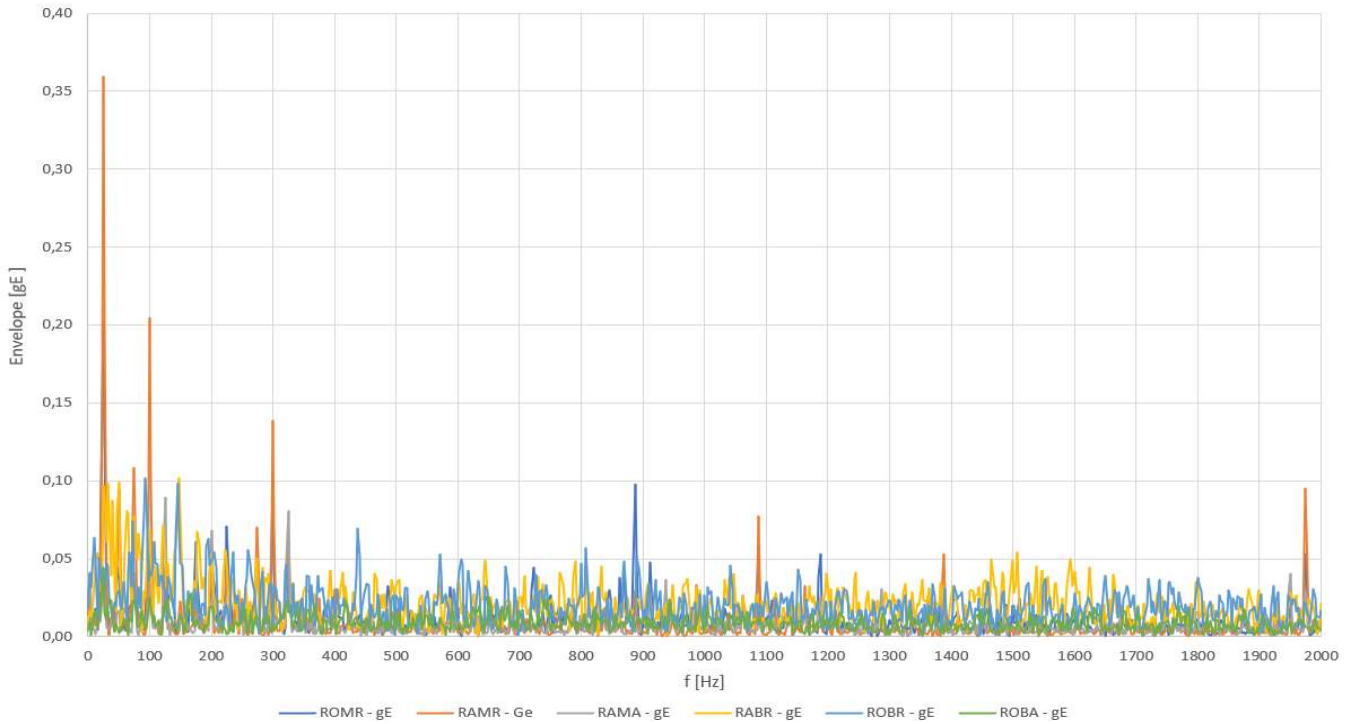
**Siglas:** ROMR - Rolamento oposto motor radial ; RAMR - Rolamento ataque motor radial ; RAMA ; Rolamento ataque motor axial ; RABR - Rolamento ataque bomba radial ; ROBR - Rolamento oposto bomba radial ; ROBA - Rolamento oposto bomba axial.

**Observações** As medidas quer na bomba, quer no motor, foram efetuadas nas bases de medição existentes para este efeito.  
As velocidades de vibração registadas, têm valor de amplitude RMS irrelevante em todo o espectro sob avaliação.  
Portanto, ao nível de desequilíbrios, desalinhamentos ou folgas, não foram registados quaisquer sintomas que requeiram acompanhamento superior ao normal.

## 2. Envelope de aceleração

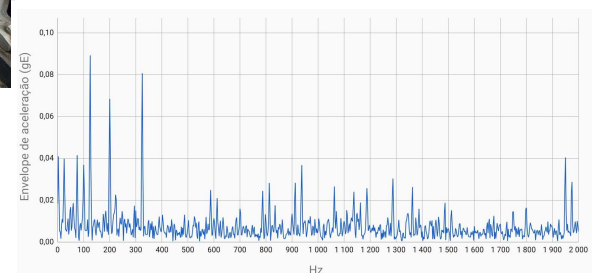
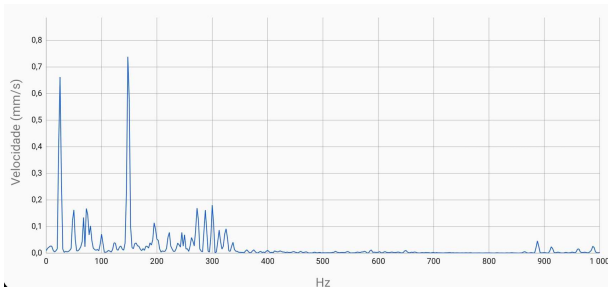
PICO A PICO	ROMR	1,095	gE	RAMR	1,373	gE	RAMA	0,660	gE	(SKF - Envelope) [gE] 1500 rpm		
	ROBR	1,483	gE	RABR	2,323	gE	RABA	0,805	gE	<1	1-4	≥4

**MOTOR EFACEC BF5225M44 SN 942305007 + BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02 - Envelope de aceleração gE (EE MADEIRAS GRUPO 2) - 12ABR2023**



**Observações** A amplitude das acelerações são muito reduzidas em todo o espectro sob avaliação, ainda que tenham valores superiores aos registados antes da intervenção de manutenção, revelando a inexistência de problemas ao nível de rolamentos.

## 3. Fotos do trabalho desenvolvido



**Data** 12/abr/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Madeiras **Destino Elev.** Res. Alto D. Luís **Grupo** 2

**MOTOR** **Marca** EFACEC **Modelo** BF5225M44 **S/N** 942305007 **P [kW]** 45

**BOMBA** **Marca** RITZ **Modelo** 100-400.2F **S/N** 2321261 02 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 187,5  
**H<sub>n</sub> [m]** 50,6

**Hora de inspeção** 12h00 - 13h00 **Estabilização térmica** 1h **Regime de carga** 2/3 da carga nominal

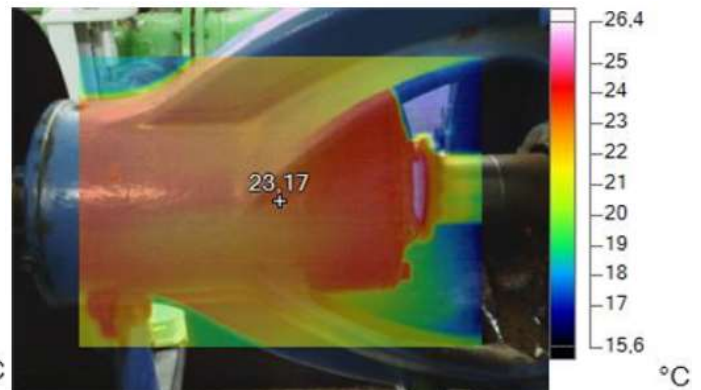
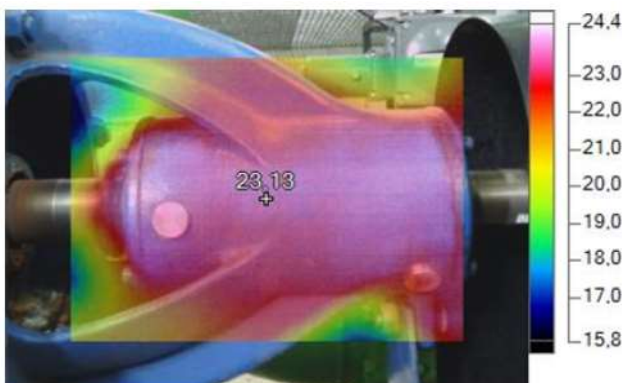
## 1. Bomba - Caixa de rolamentos

1.1 RA 20 °C SKF 6211

1.2 ROA 24 °C SKF 6211

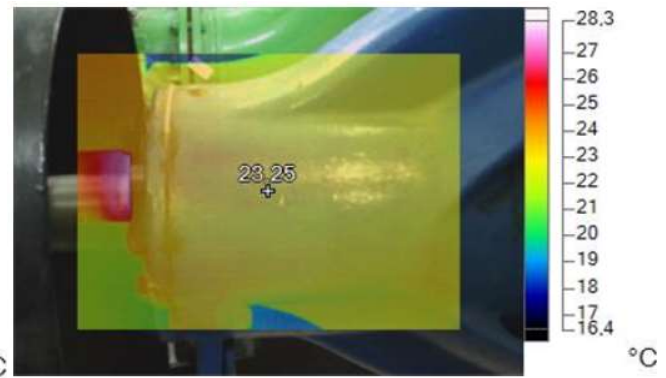
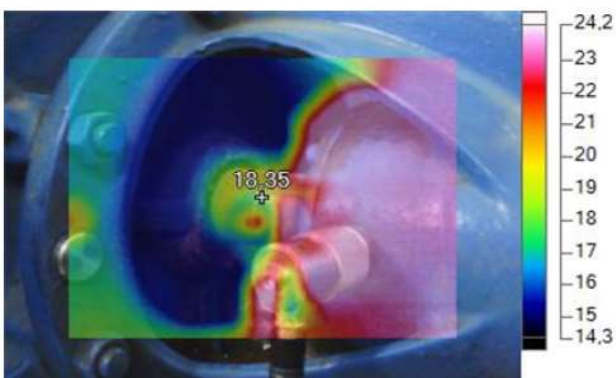
<70°C 70-90°C >90°C

<70°C 70-90°C >90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento.

## 2. Bomba - empanque



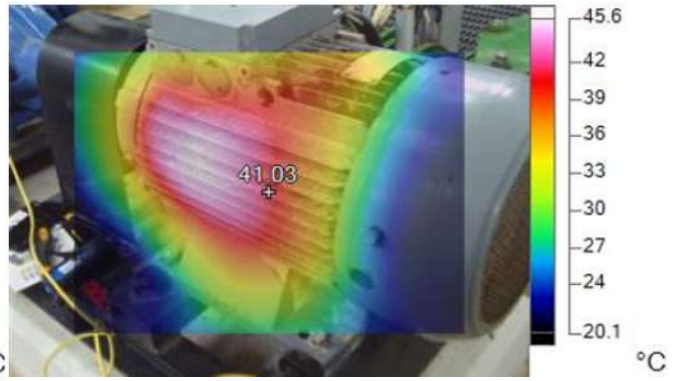
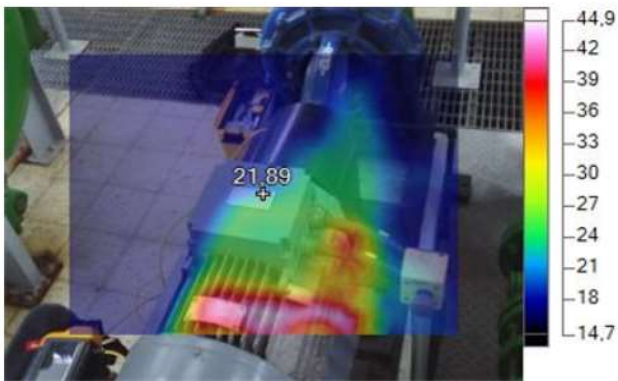
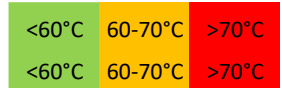
**Observações** Sem registo de perda de água nem de aquecimento.

### 3. Motor - carcaça e cablagem

3.1 Cabo de alimentação 39 °C

(Isolamento PVC T<sub>máx</sub>< 70°C)

3.2 Carcaça do motor 42 °C

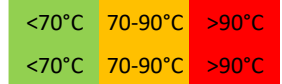


**Observações** Valores normais de temperatura.

### 4. Motor - rolamento ataque e oposto

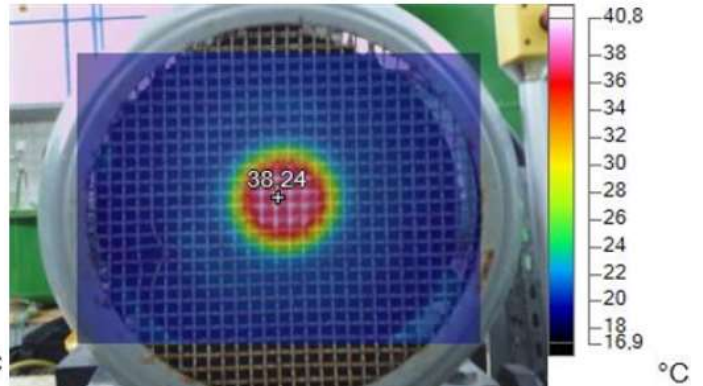
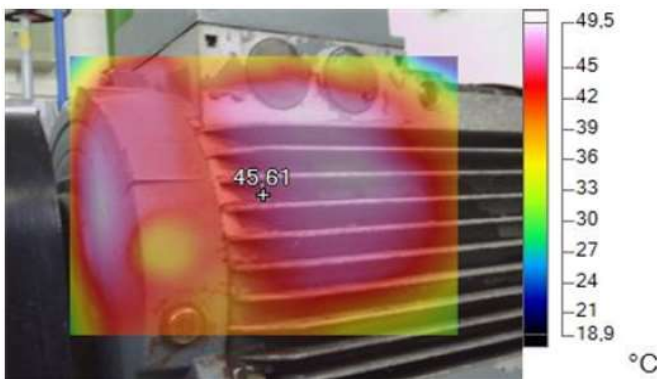
4.1 RA 45 °C

6213 2Z C3



4.2 ROA 40 °C

6212 2Z C3



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento.

*Em anexo a este registo de inspeção está um relatório elaborado no software Fluke connect com alguma informação adicional sobre a avaliação termográfica.*

**EPAL/ISEL**

**ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE MADEIRAS**

**AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA DO GRUPO 2 DE ELEVAÇÃO  
PARA O RESERVATÓRIO DO ALTO DE DOM LUÍS**

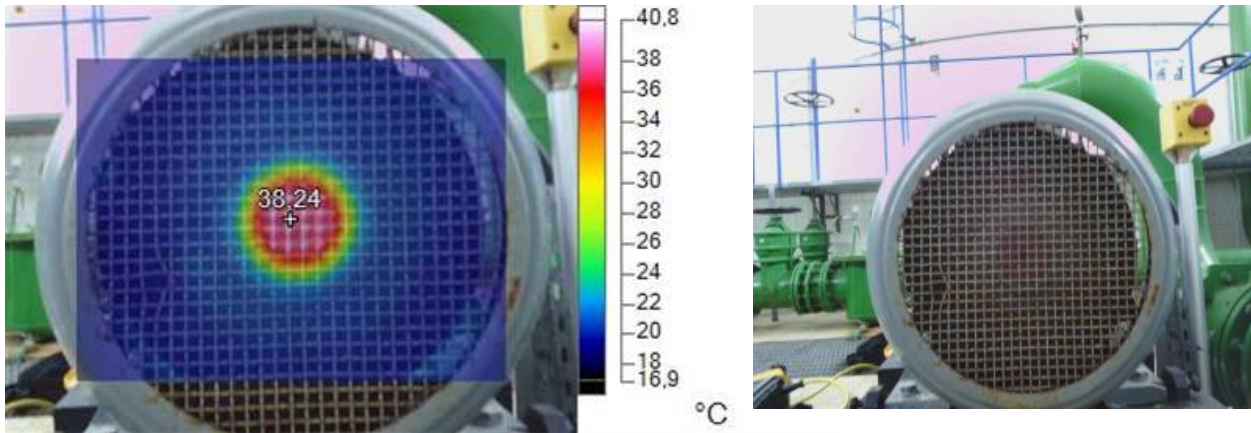
**Sumário:** Em termos de procedimento de ensaio, o grupo eletrobomba entrou em exploração às 11h, tendo-se aguardado cerca de 1h para estabilização térmica. Este período foi o melhor possível face à capacidade existente no reservatório de jusante. Sendo um grupo de 45kW, a trabalhar a 80% da carga, foi possível obter informação relativamente representativa da sua condição de funcionamento. As zonas avaliadas são as caixas do motor e da bomba, havendo ainda uma avaliação da carcaça do motor, onde existem perdas térmicas resistivas no estator e no rotor.

## Table of Contents

IR_00243.IS2 .....	3
IR_00253.IS2 .....	4
IR_00242.IS2 .....	5
IR_00246.IS2 .....	6
IR_00245.IS2 .....	7
IR_00248.IS2 .....	8
IR_00249.IS2 .....	9
IR_00252.IS2 .....	10
IR_00254.IS2 .....	11
IR_00255.IS2 .....	12
IR_00250.IS2 .....	13
IR_00251.IS2 .....	14

## IR\_00243.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

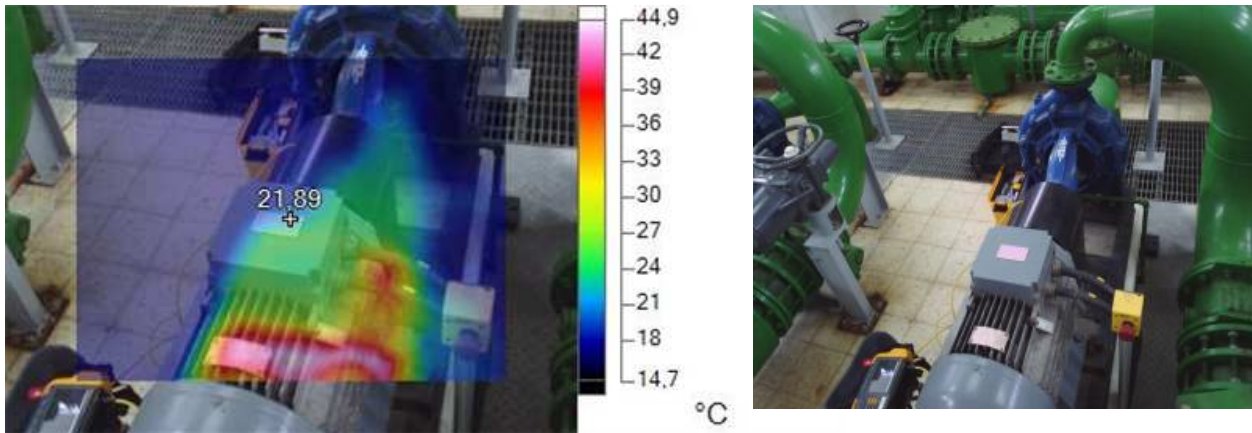
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	21,1 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,15 °C até 40,58 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 11:54:49 AM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	38,2 °C	38,2 °C	38,2 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00253.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

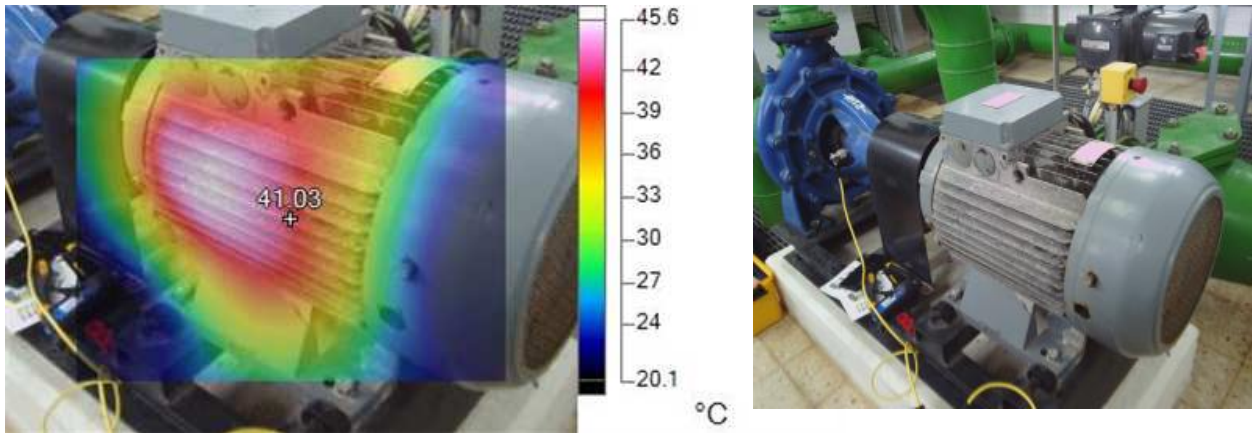
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	20,9 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	15,00 °C até 44,61 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 12:01:55 PM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	21,9 °C	21,9 °C	21,9 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00242.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0.95
<b>Reflected Temperature</b>	22.0 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

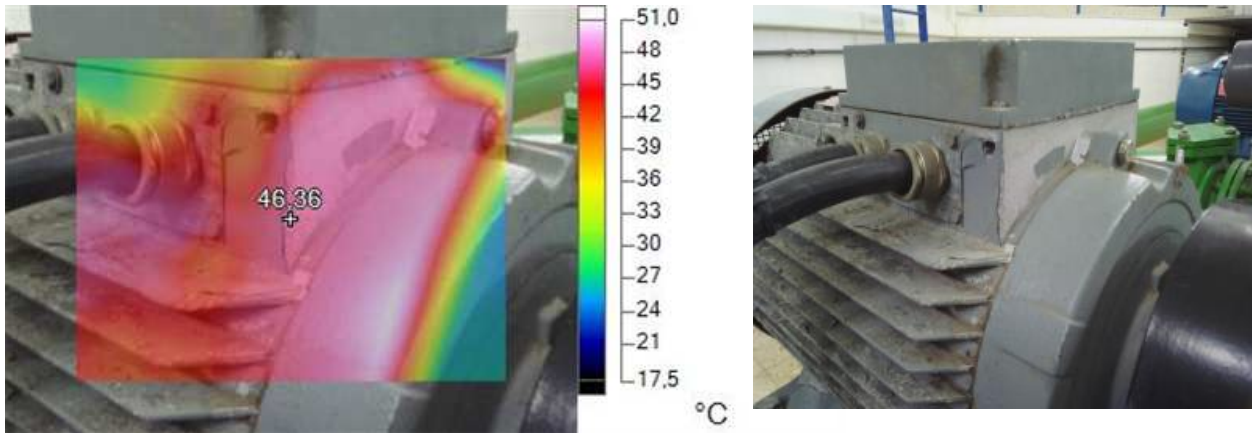
<b>Emissivity</b>	0.95
<b>Background Temperature</b>	22.0 °C
<b>Average Temperature</b>	31.0 °C
<b>Calibration Range</b>	-20.0 °C to 100.0 °C
<b>Image Range</b>	20.1 °C to 45.6 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 11:54:24 AM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Centerpoint	41.0 °C	41.0 °C	41.0 °C	0.95	22.0 °C	0.00	

## IR\_00246.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

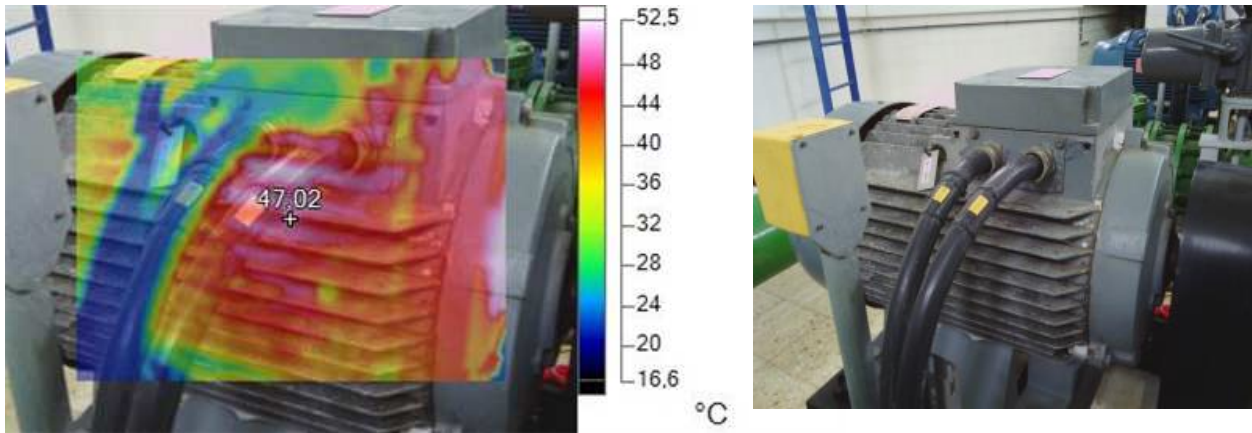
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	42,9 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,86 °C até 50,68 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 11:56:15 AM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	46,4 °C	46,4 °C	46,4 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00245.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

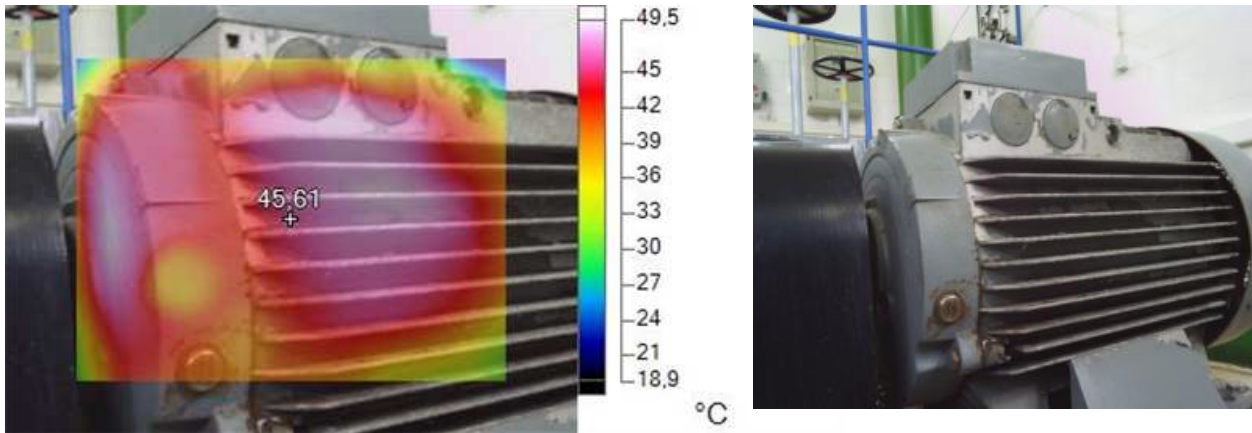
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	37,9 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	16,94 °C até 52,18 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 11:55:56 AM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	47,0 °C	47,0 °C	47,0 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00248.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

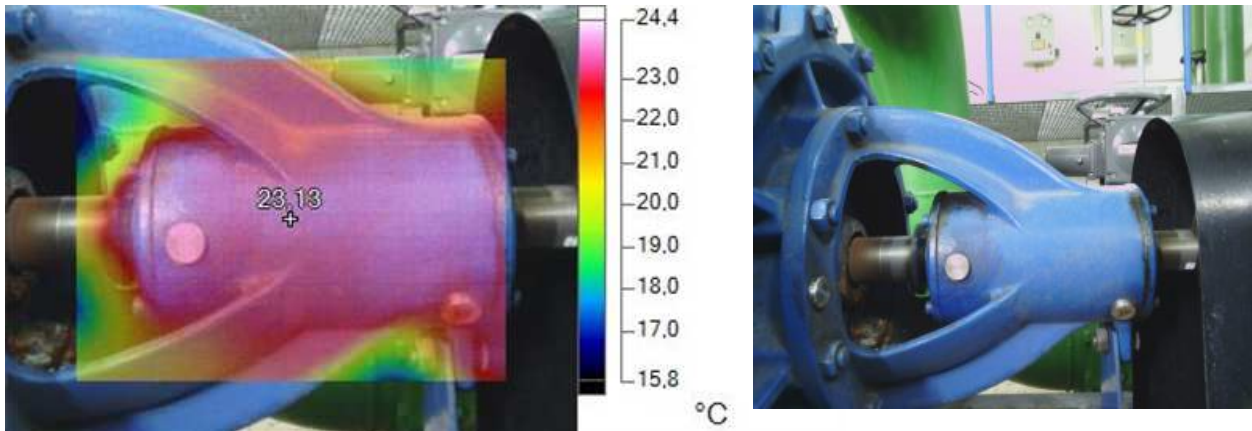
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	42,8 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,18 °C até 49,15 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 11:57:29 AM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	45,6 °C	45,6 °C	45,6 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00249.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

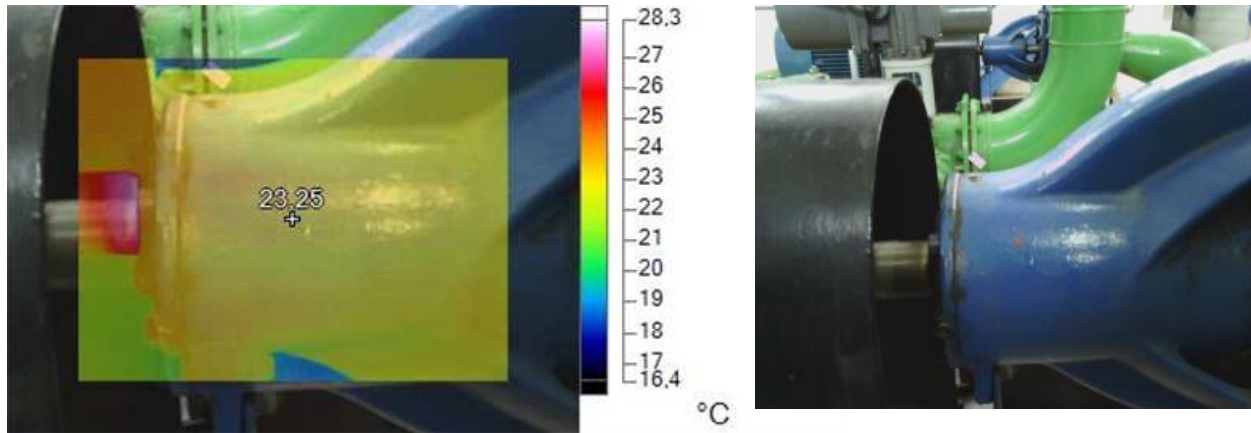
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	22,1 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	15,92 °C até 24,31 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 11:58:49 AM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	23,1 °C	23,1 °C	23,1 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00252.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

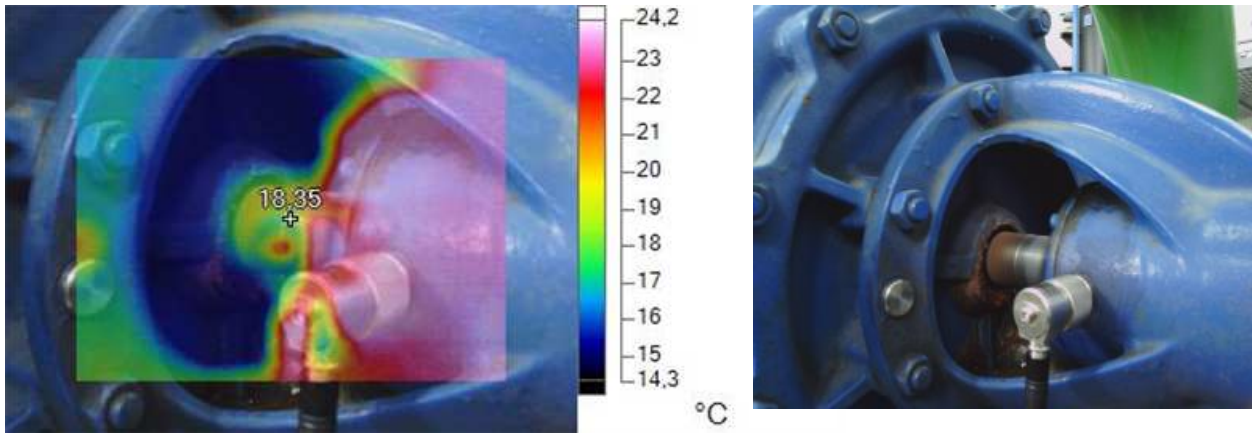
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	23,0 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	16,54 °C até 28,14 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 12:00:27 PM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	23,3 °C	23,3 °C	23,3 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00254.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

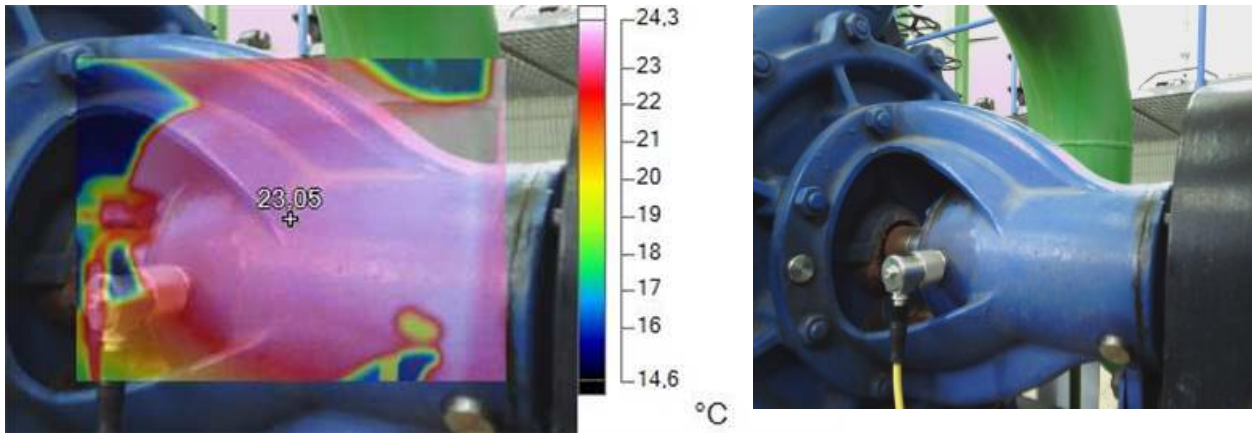
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	19,2 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	14,43 °C até 24,07 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 12:02:53 PM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	18,3 °C	18,3 °C	18,3 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00255.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,0 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

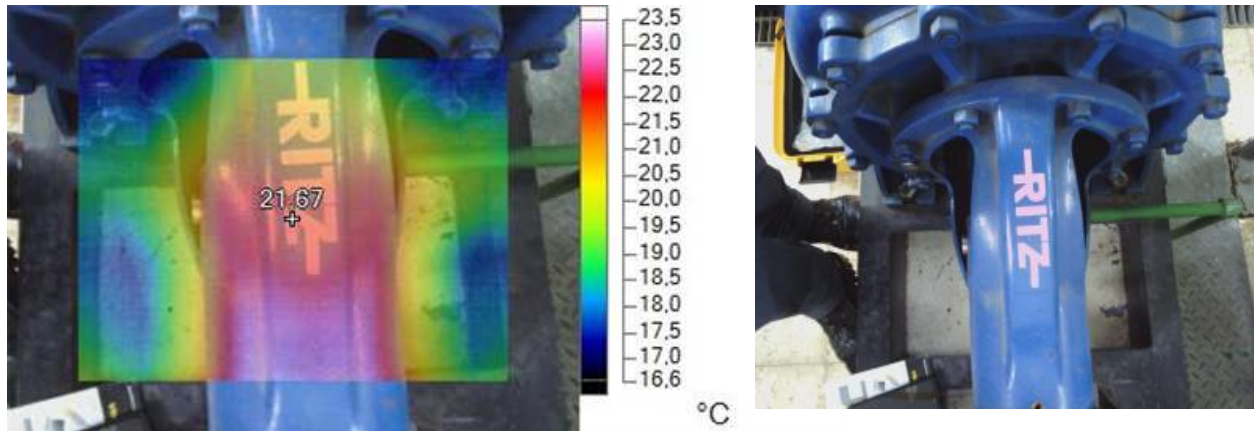
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,0 °C
<b>Average Temperature</b>	22,0 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,0 °C até 100,0 °C
<b>Image Range</b>	14,7 °C até 24,2 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 12:03:30 PM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	23,0 °C	23,0 °C	23,0 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00250.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

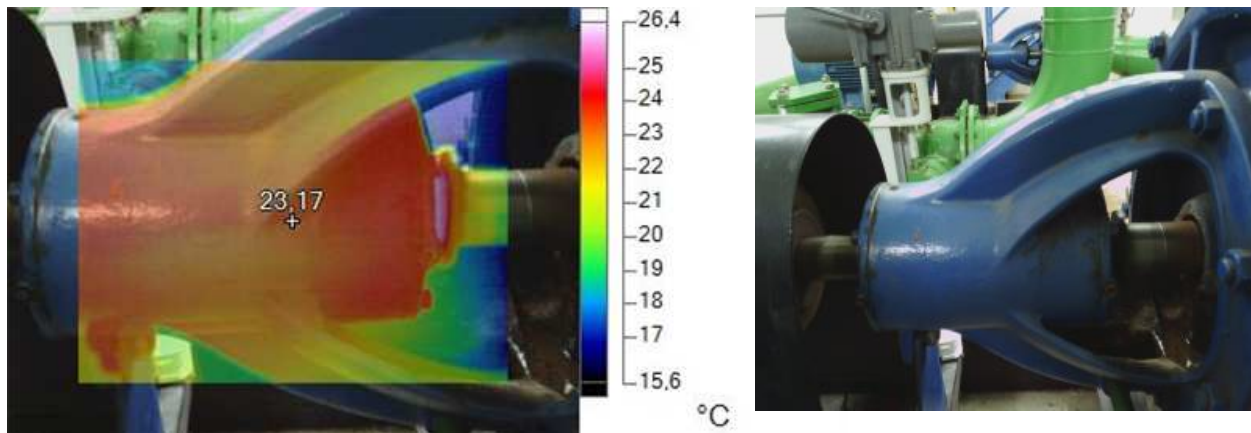
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	20,0 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	16,64 °C até 23,40 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 11:59:31 AM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	21,7 °C	21,7 °C	21,7 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00251.IS2

<b>Inspection Date</b>	04/12/2023	<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Average Temperature</b>	21,9 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	15,74 °C até 26,29 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	12/04/2023 12:00:14 PM
<b>File Resolution</b>	2560X1920

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	23,2 °C	23,2 °C	23,2 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

**Summary:**

<b>Data</b>	03/abr/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes				
<b>Estação Elevatória</b>	Madeiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Alto D. Luís	<b>Grupo</b>	2		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	BF5225M44	<b>S/N</b>	942305007	<b>P [kW]</b>	45
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	RITZ	<b>Modelo</b>	100-400.2F	<b>S/N</b>	2321261 02	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	187,5
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	50,6

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	250	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	210	mm
DN Tubo aspiração	250	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	179,7	mm
DN Tubo compressão	250	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	810	mm
DN da conduta	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	250	mm
Material conduta	PRFV		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	-120	mm
Extensão da conduta (L)	822	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	250	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1 .	03/04/2023 14:14	0,38	5,87	4,74	1493	0,0	13,90	402	0,000
2 .	03/04/2023 14:11	0,40	5,80	4,75	1492	14,2	17,10	402	0,080
3 .	03/04/2023 14:07	0,39	5,75	4,77	1489	26,2	27,00	402	0,148
4 .	03/04/2023 14:04	0,38	5,62	4,80	1487	45,7	27,70	402	0,259
5 .	03/04/2023 14:01	0,38	5,27	4,86	1485	61,2	33,30	402	0,346
6 .	03/04/2023 13:47	0,37	4,92	4,93	1484	75,4	37,90	402	0,427

Tabela 1 - Dados de ensaio

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1.	03/04/2023 14:14	0,0	0,0	0,00	56,00	1,02	0	57,02	0,00
2.	03/04/2023 14:11	0,2	0,1	0,00	55,08	1,02	0	56,10	2,17
3.	03/04/2023 14:07	0,3	0,1	0,00	54,67	1,02	0	55,69	3,98
4.	03/04/2023 14:04	0,5	0,3	-0,01	53,45	1,02	0	54,46	6,78
5.	03/04/2023 14:01	0,7	0,3	-0,02	49,88	1,02	0	50,88	8,49
6.	03/04/2023 13:47	0,8	0,4	-0,03	46,41	1,02	0	47,40	9,74

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1.	03/04/2023 14:14	13,9	87,32%	12,15	0,00%	0,0	0,00%		
2.	03/04/2023 14:11	17,1	88,37%	15,12	14,36%	2,2	12,69%	2,147	1,204
3.	03/04/2023 14:07	27,0	91,09%	25,60	15,53%	4,0	14,73%	1,851	1,031
4.	03/04/2023 14:04	27,7	91,12%	25,25	26,86%	6,8	24,48%	1,113	0,606
5.	03/04/2023 14:01	33,3	91,36%	30,45	27,87%	8,5	25,48%	1,069	0,544
6.	03/04/2023 13:47	37,9	91,54%	34,70	28,07%	9,7	25,70%	1,060	0,503

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

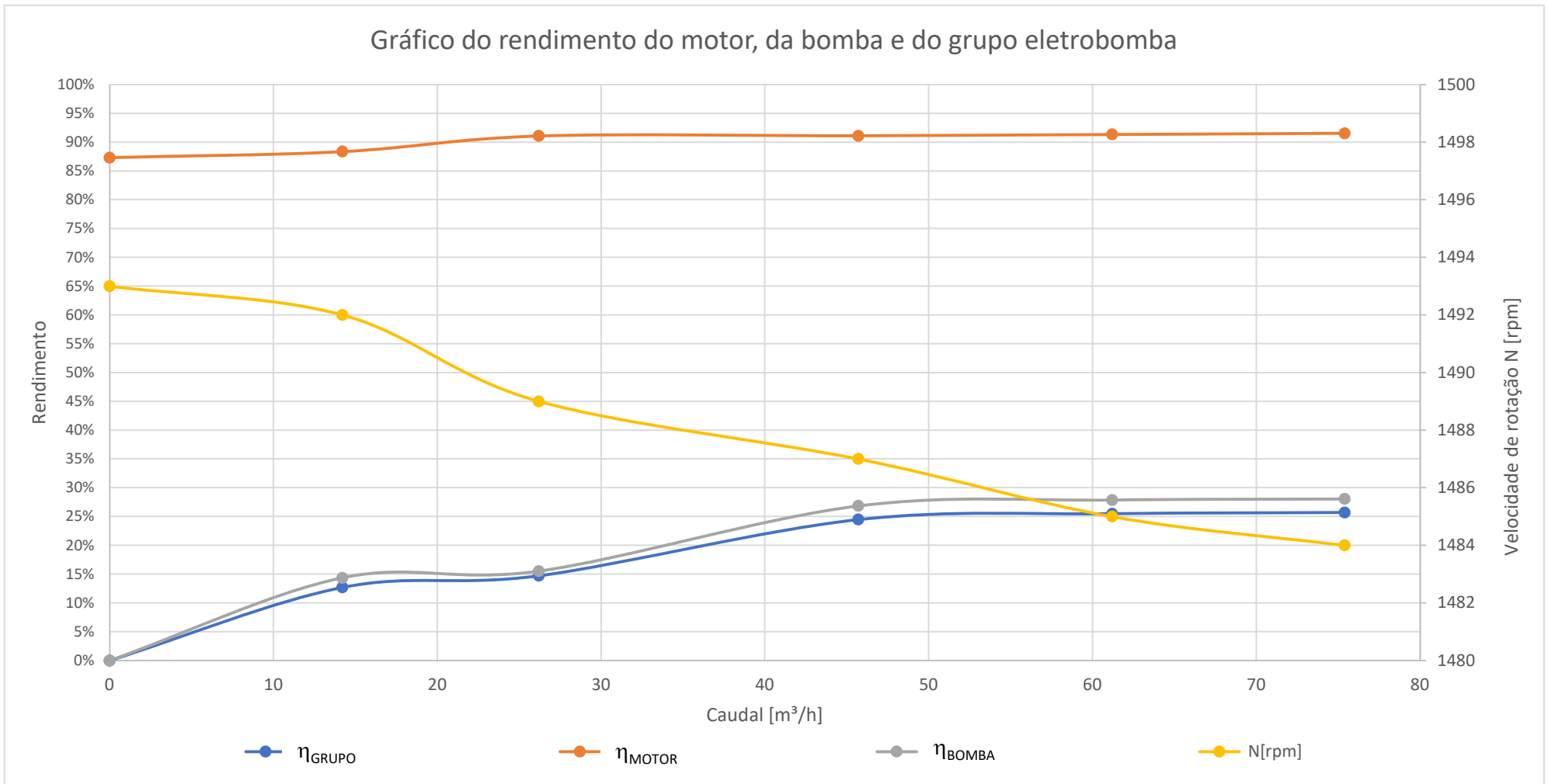
	Data ; Hora	$v_{\text{COLETOR}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]
1.	03/04/2023 14:14	0,0	0,00	44,47	0,09	44,56
2.	03/04/2023 14:11	0,1	0,00	44,37	0,09	44,46
3.	03/04/2023 14:07	0,1	0,00	44,68	0,09	44,76
4.	03/04/2023 14:04	0,3	-0,01	45,08	0,09	45,16
5.	03/04/2023 14:01	0,3	-0,02	45,70	0,09	45,77
6.	03/04/2023 13:47	0,4	-0,03	46,51	0,09	46,58

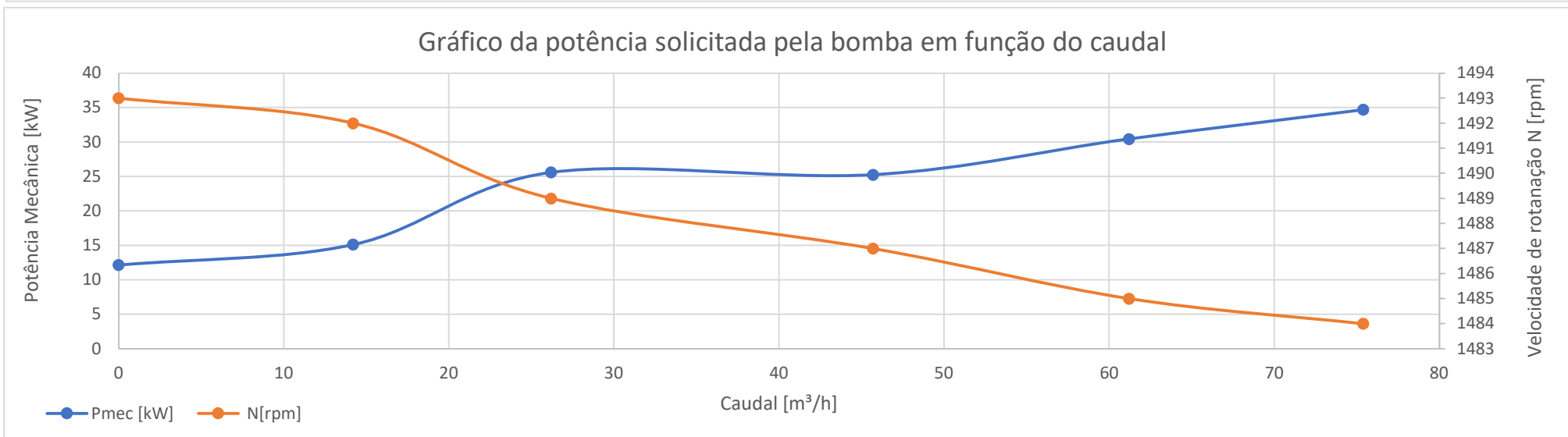
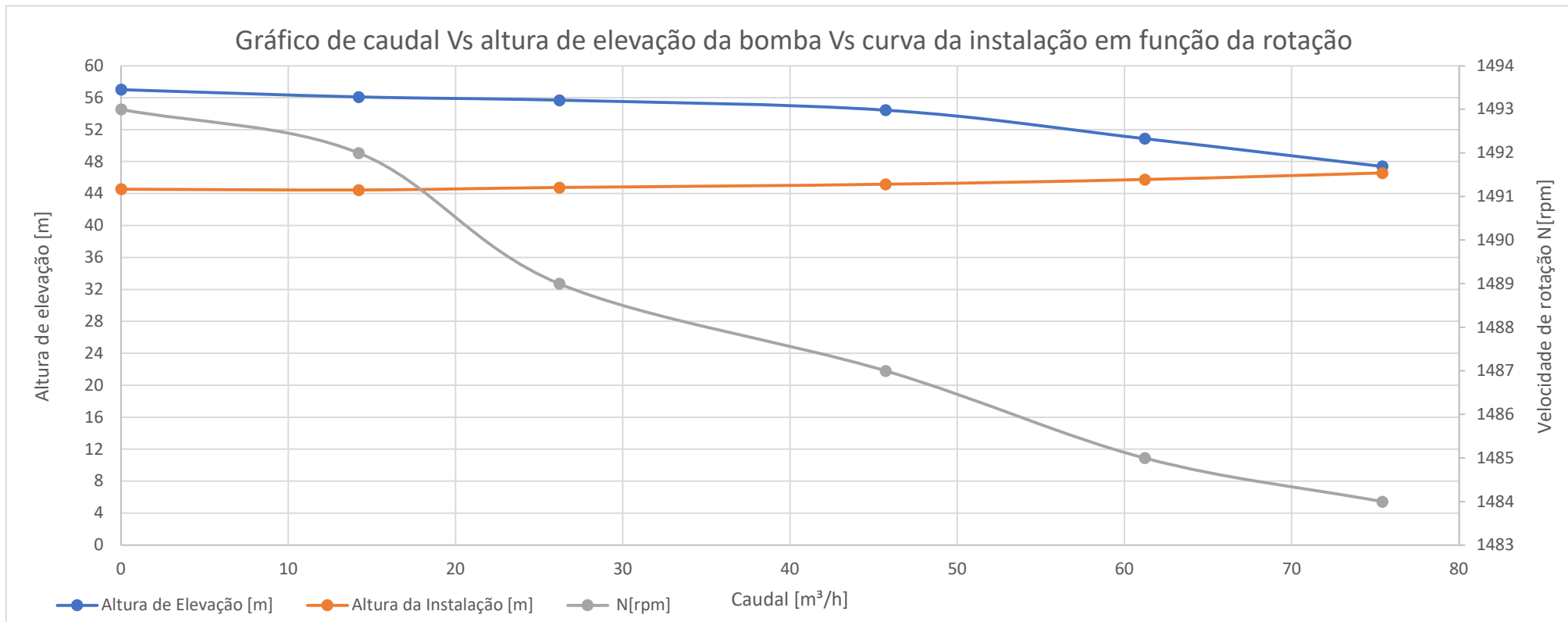
Tabela 4 - Cálculos da instalação

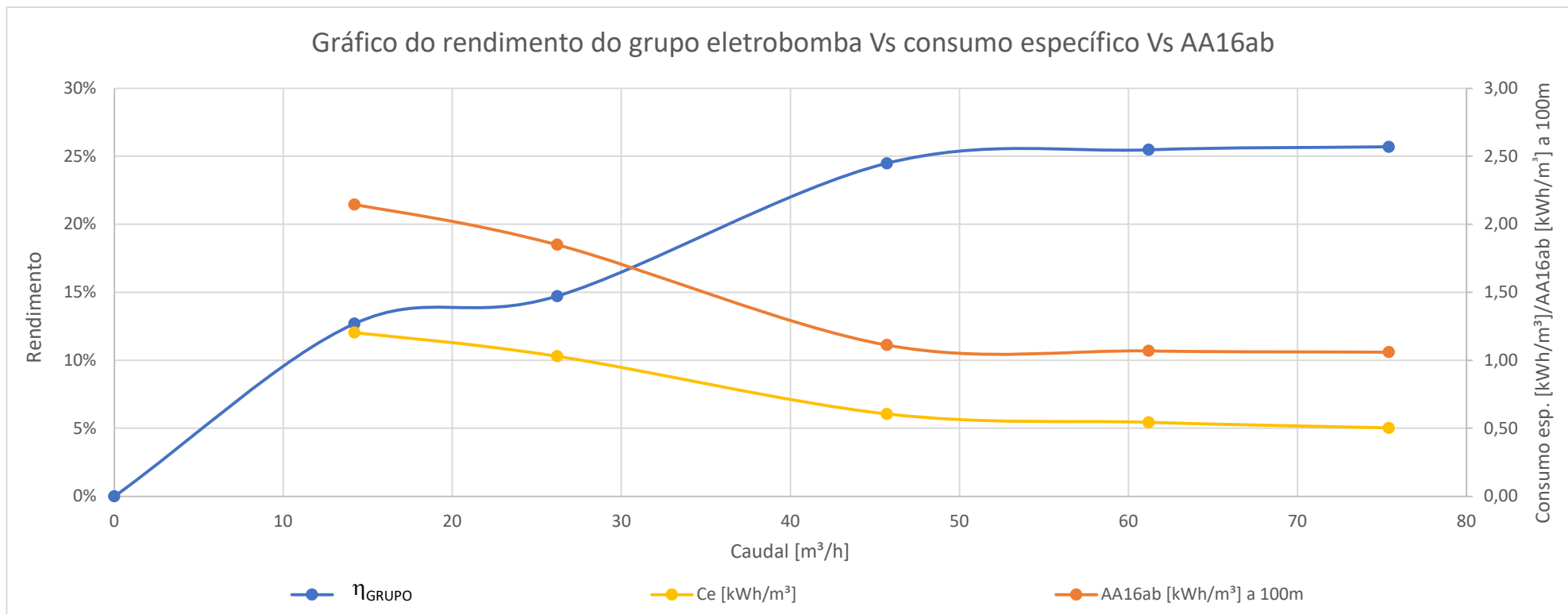
# INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEW	3K220000225153		2014	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	2088 G3 A20 A1	255749		1994	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Intrumentos de suporte ao ensaio







## OBSERVAÇÕES

ESTES FORAM OS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE DIA 3-ABR-2023.

MAIS TARDE APUROU-SE EXISTIR UMA AVARIA NO MEDIDOR DE CAUDAL QUE PROVOCAVA UMA SUBMEDIÇÃO EM TODOS OS PONTOS DO ENSAIO.

FOI POSSÍVEL DETERMINAR UM ERRO DO MEDIDOR DE CAUDAL, QUE SE CONSIDEROU LINEAR EM TODO O INTERVALO DE MEDIÇÃO, DESENVOLVENDO-SE UM RELATÓRIO SEMELHANTE AO PRESENTE COM OS DADOS CORRIGIDOS DE CAUDAL.

<b>Data</b>	03/abr/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes				
<b>Estação Elevatória</b>	Madeiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Alto D. Luís	<b>Grupo</b>	1		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 Premium	<b>S/N</b>	1031803804	<b>P [kW]</b>	45
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	RITZ	<b>Modelo</b>	100-400.2F	<b>S/N</b>	2321261 01	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	187,5
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	50,6

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	250	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	210	mm
DN Tubo aspiração	250	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	179,7	mm
DN Tubo compressão	250	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	810	mm
DN da conduta	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	250	mm
Material conduta	PRFV		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	-120	mm
Extensão da conduta (L)	822	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	250	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1 .	03/04/2023 15:03	0,38	5,90	4,74	1495	0,0	13,20	405	0,000
2 .	03/04/2023 15:02	0,39	5,83	4,75	1495	11,9	16,20	400	0,067
3 .	03/04/2023 14:59	0,39	5,78	4,77	1494	19,2	18,00	401	0,109
4 .	03/04/2023 14:56	0,38	5,58	4,82	1491	47,9	28,00	400	0,271
5 .	03/04/2023 14:53	0,36	5,29	4,86	1489	61,3	32,50	403	0,347
6 .	03/04/2023 14:49	0,36	4,92	4,91	1488	74,5	36,90	404	0,422

Tabela 1 - Dados de ensaio

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ Diferença de cotas [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1 .	03/04/2023 15:03	0,0	0,0	0,00	56,30	1,02	0	57,32	0,00
2 .	03/04/2023 15:02	0,1	0,1	0,00	55,49	1,02	0	56,51	1,83
3 .	03/04/2023 14:59	0,2	0,1	0,00	54,98	1,02	0	56,00	2,93
4 .	03/04/2023 14:56	0,5	0,3	-0,01	53,04	1,02	0	54,05	7,05
5 .	03/04/2023 14:53	0,7	0,3	-0,02	50,29	1,02	0	51,29	8,57
6 .	03/04/2023 14:49	0,8	0,4	-0,02	46,51	1,02	0	47,51	9,64

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1 .	03/04/2023 15:03	13,2	90,21%	11,91	0,00%	0,0	0,00%		
2 .	03/04/2023 15:02	16,2	91,16%	14,77	12,41%	1,8	11,31%	2,409	1,361
3 .	03/04/2023 14:59	18,0	91,73%	16,51	17,75%	2,9	16,28%	1,674	0,938
4 .	03/04/2023 14:56	28,0	93,84%	26,27	26,86%	7,1	25,20%	1,082	0,585
5 .	03/04/2023 14:53	32,5	93,99%	30,55	28,04%	8,6	26,36%	1,034	0,530
6 .	03/04/2023 14:49	36,9	94,13%	34,75	27,75%	9,6	26,14%	1,043	0,495

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

	Data ; Hora	$v_{\text{COLETOR}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]
1 .	03/04/2023 15:03	0,0	0,00	44,47	0,09	44,56
2 .	03/04/2023 15:02	0,1	0,00	44,47	0,09	44,56
3 .	03/04/2023 14:59	0,1	0,00	44,68	0,09	44,76
4 .	03/04/2023 14:56	0,3	-0,01	45,29	0,09	45,37
5 .	03/04/2023 14:53	0,3	-0,02	45,90	0,09	45,97
6 .	03/04/2023 14:49	0,4	-0,02	46,41	0,09	46,48

Tabela 4 - Cálculos da instalação

# INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEW	3K220000225153		2014	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	2088 G3 A20 A1	255749		1994	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Intrumentos de suporte ao ensaio

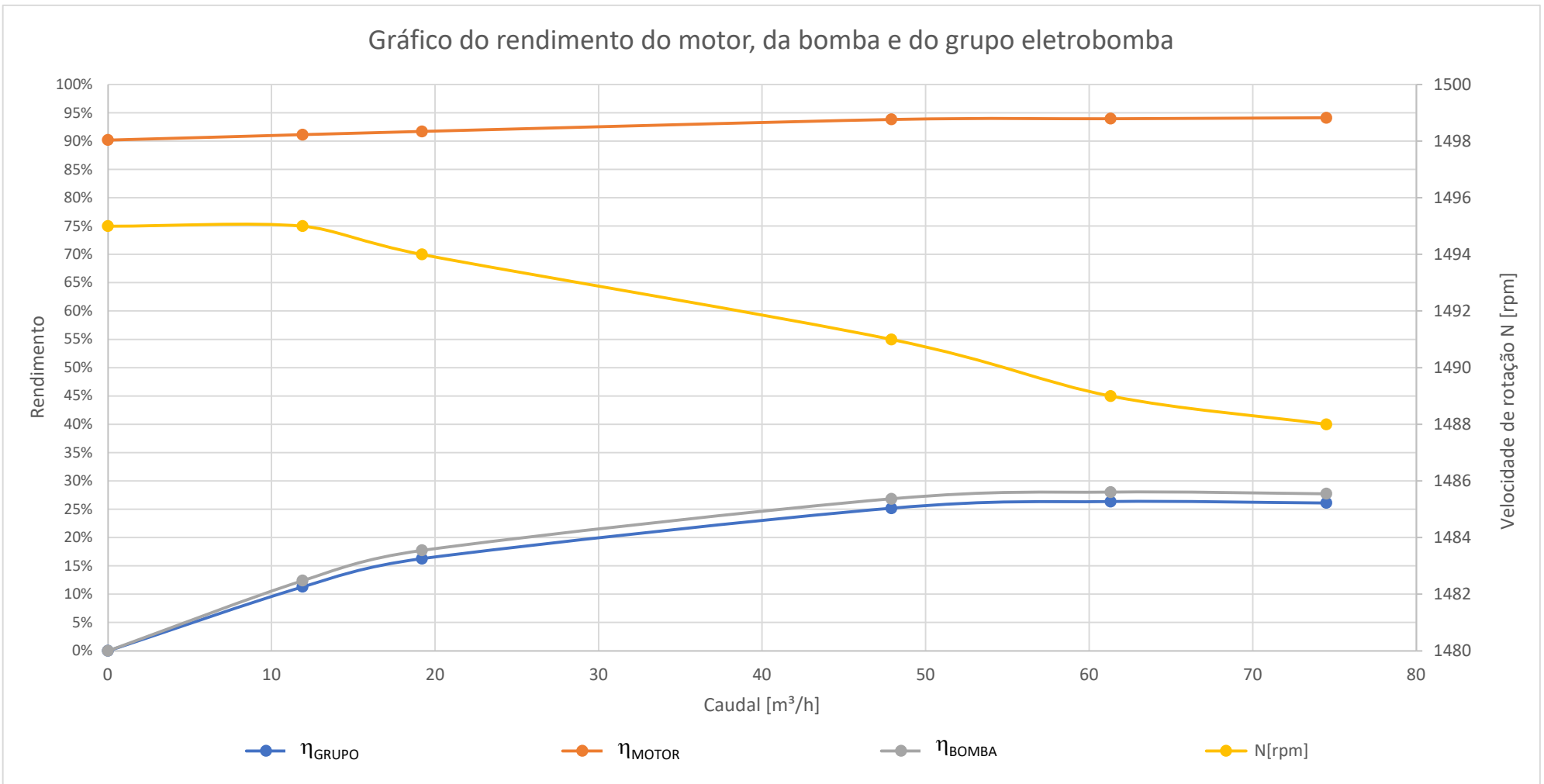


Gráfico de caudal Vs altura de elevação da bomba Vs curva da instalação em função da rotação

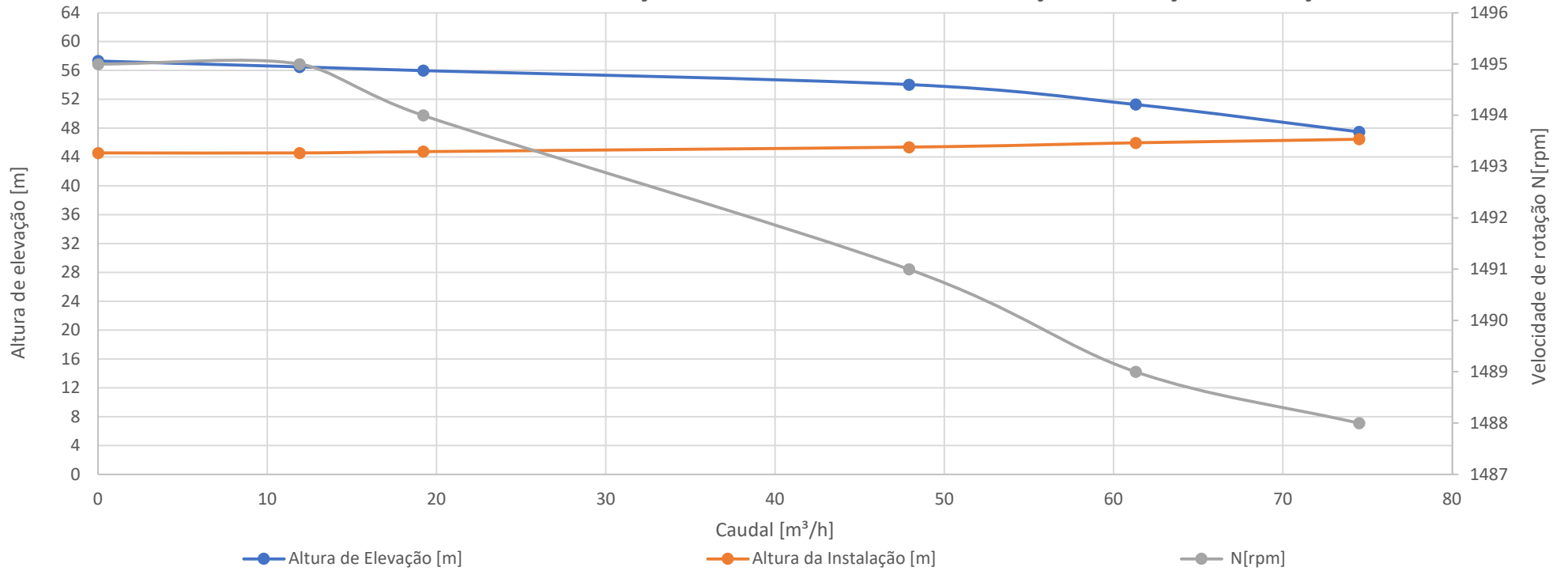
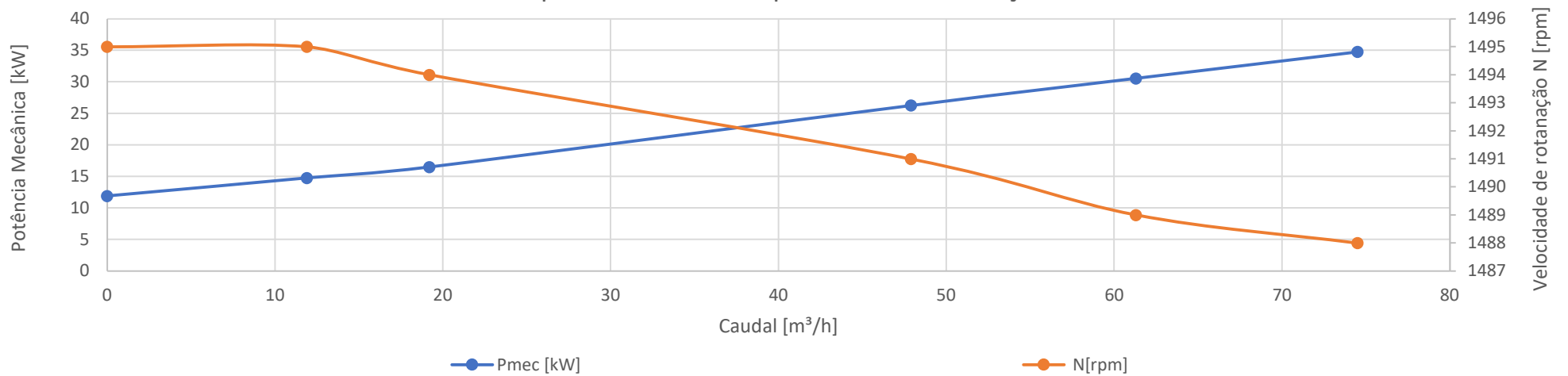
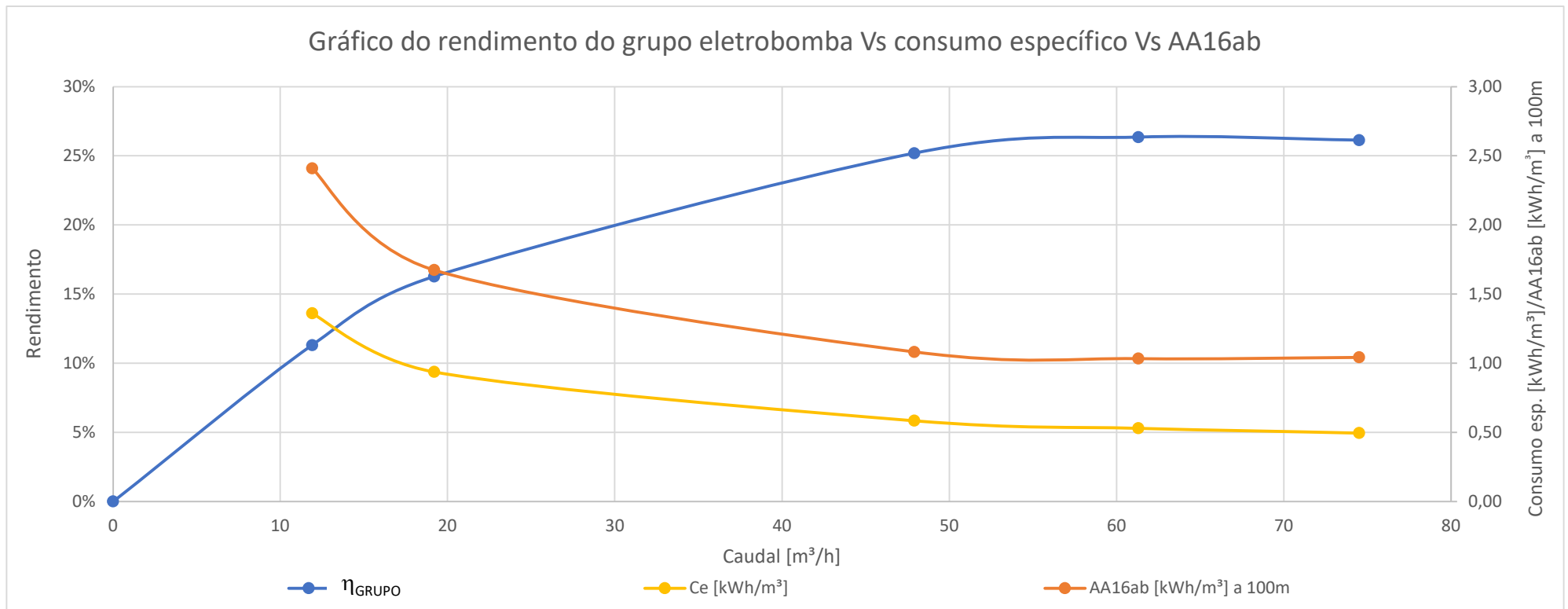


Gráfico da potência solicitada pela bomba em função do caudal





## OBSERVAÇÕES

ESTES FORAM OS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE DIA 3-ABR-2023.

MAIS TARDE APUROU-SE EXISTIR UMA AVARIA NO MEDIDOR DE CAUDAL QUE PROVOCAVA UMA SUBMEDIÇÃO EM TODOS OS PONTOS DO ENSAIO.

FOI POSSÍVEL DETERMINAR UM ERRO DO MEDIDOR DE CAUDAL, QUE SE CONSIDEROU LINEAR EM TODO O INTERVALO DE MEDIÇÃO, DESENVOLVENDO-SE UM RELATÓRIO SEMELHANTE AO PRESENTE COM OS DADOS CORRIGIDOS DE CAUDAL.

<b>Data</b>	03/abr/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes		<b>CAUDAL CORRIGIDO</b>		
<b>Estação Elevatória</b>	Madeiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Alto D. Luís	<b>Grupo</b>	2		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	BF5 225M44	<b>S/N</b>	942305007	<b>P [kW]</b>	45
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	RITZ	<b>Modelo</b>	100-400.2F	<b>S/N</b>	2321261 02	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	187,5
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	50,6

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	250	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	210	mm
DN Tubo aspiração	250	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	179,7	mm
DN Tubo compressão	250	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	810	mm
DN da conduta	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	250	mm
Material conduta	PRFV		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	-120	mm
Extensão da conduta (L)	822	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	250	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1 .	03/04/2023 14:14	0,38	5,87	4,74	1493	0,0	13,90	402	0,000
2 .	03/04/2023 14:11	0,40	5,80	4,75	1492	33,9	17,10	402	0,192
3 .	03/04/2023 14:07	0,39	5,75	4,77	1489	62,6	27,00	402	0,354
4 .	03/04/2023 14:04	0,38	5,62	4,80	1487	109,2	27,70	402	0,618
5 .	03/04/2023 14:01	0,38	5,27	4,86	1485	146,2	33,30	402	0,827
6 .	03/04/2023 13:47	0,37	4,92	4,93	1484	180,2	37,90	402	1,019

Tabela 1 - Dados de ensaio

A informação do caudal foi obtida com base em leituras no ensaio e aplicando um fator de correção apurado após a substituição do medidor de caudal, por divisão entre o novo caudal máximo do grupo 1 e o anterior registo.

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1 .	03/04/2023 14:14	0,0	0,0	0,00	56,00	1,02	0	57,02	0,00
2 .	03/04/2023 14:11	0,4	0,2	-0,01	55,08	1,02	0	56,09	5,19
3 .	03/04/2023 14:07	0,7	0,4	-0,02	54,67	1,02	0	55,67	9,50
4 .	03/04/2023 14:04	1,2	0,6	-0,05	53,45	1,02	0	54,41	16,19
5 .	03/04/2023 14:01	1,6	0,8	-0,10	49,88	1,02	0	50,80	20,24
6 .	03/04/2023 13:47	2,0	1,0	-0,15	46,41	1,02	0	47,28	23,21

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1 .	03/04/2023 14:14	13,9	87,32%	12,15	0,00%	0,0	0,00%		
2 .	03/04/2023 14:11	17,1	88,37%	15,12	34,30%	5,2	30,33%	0,899	0,504
3 .	03/04/2023 14:07	27,0	91,09%	25,60	37,10%	9,5	35,17%	0,775	0,431
4 .	03/04/2023 14:04	27,7	91,12%	25,25	64,12%	16,2	58,45%	0,466	0,254
5 .	03/04/2023 14:01	33,3	91,36%	30,45	66,48%	20,2	60,79%	0,448	0,228
6 .	03/04/2023 13:47	37,9	91,54%	34,70	66,89%	23,2	61,25%	0,445	0,210

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

	Data ; Hora	$v_{\text{COLETOR}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]
1 .	03/04/2023 14:14	0,0	0,00	44,47	0,09	44,56
2 .	03/04/2023 14:11	0,2	-0,01	44,37	0,09	44,45
3 .	03/04/2023 14:07	0,4	-0,02	44,68	0,09	44,75
4 .	03/04/2023 14:04	0,6	-0,05	45,08	0,09	45,12
5 .	03/04/2023 14:01	0,8	-0,10	45,70	0,09	45,69
6 .	03/04/2023 13:47	1,0	-0,15	46,51	0,09	46,46

Tabela 4 - Cálculos da instalação

# INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEW	3K220000225153		2014	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	2088 G3 A20 A1	255749		1994	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Intrumentos de suporte ao ensaio

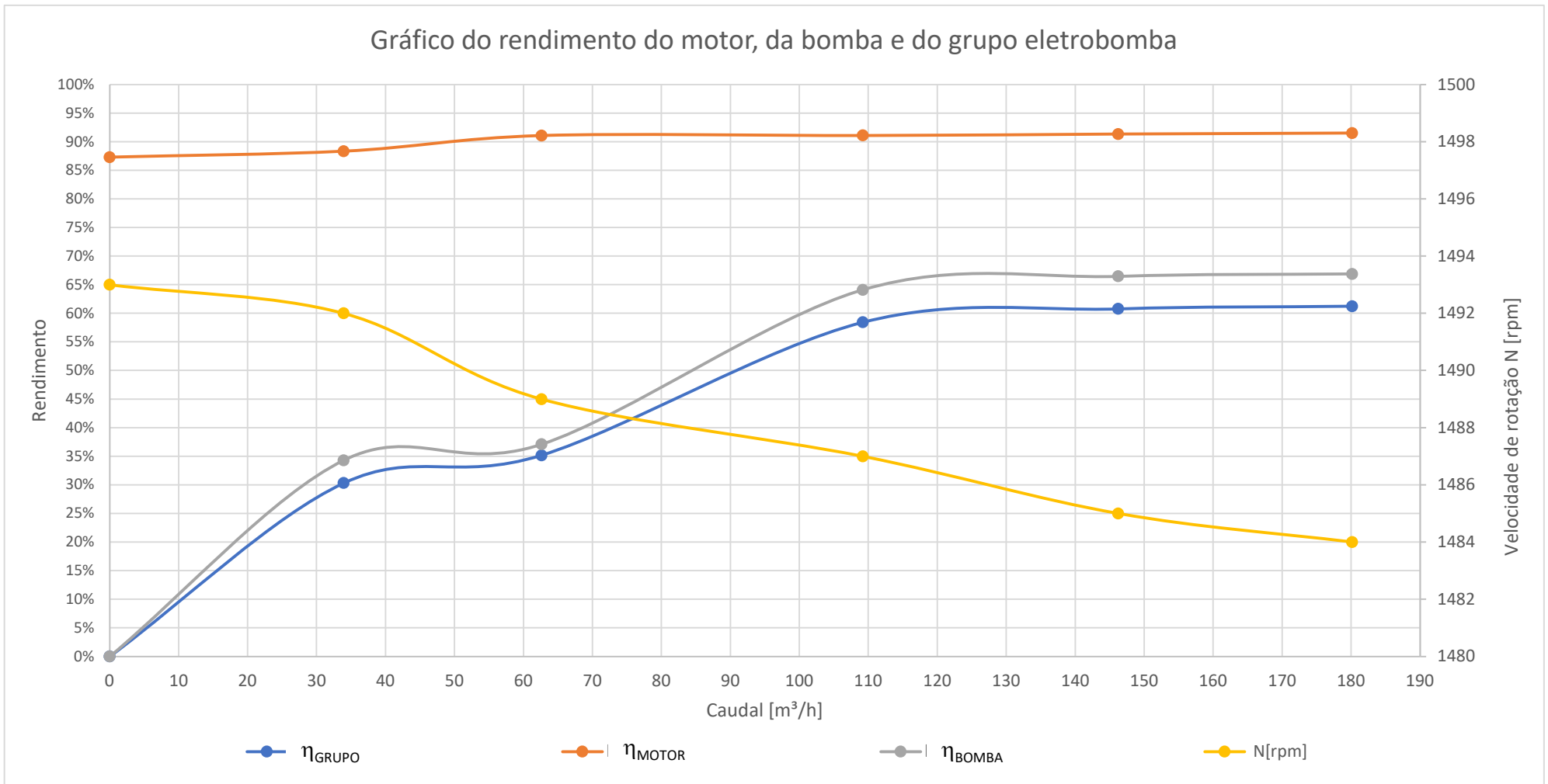


Gráfico de caudal Vs altura de elevação da bomba Vs curva da instalação em função da rotação

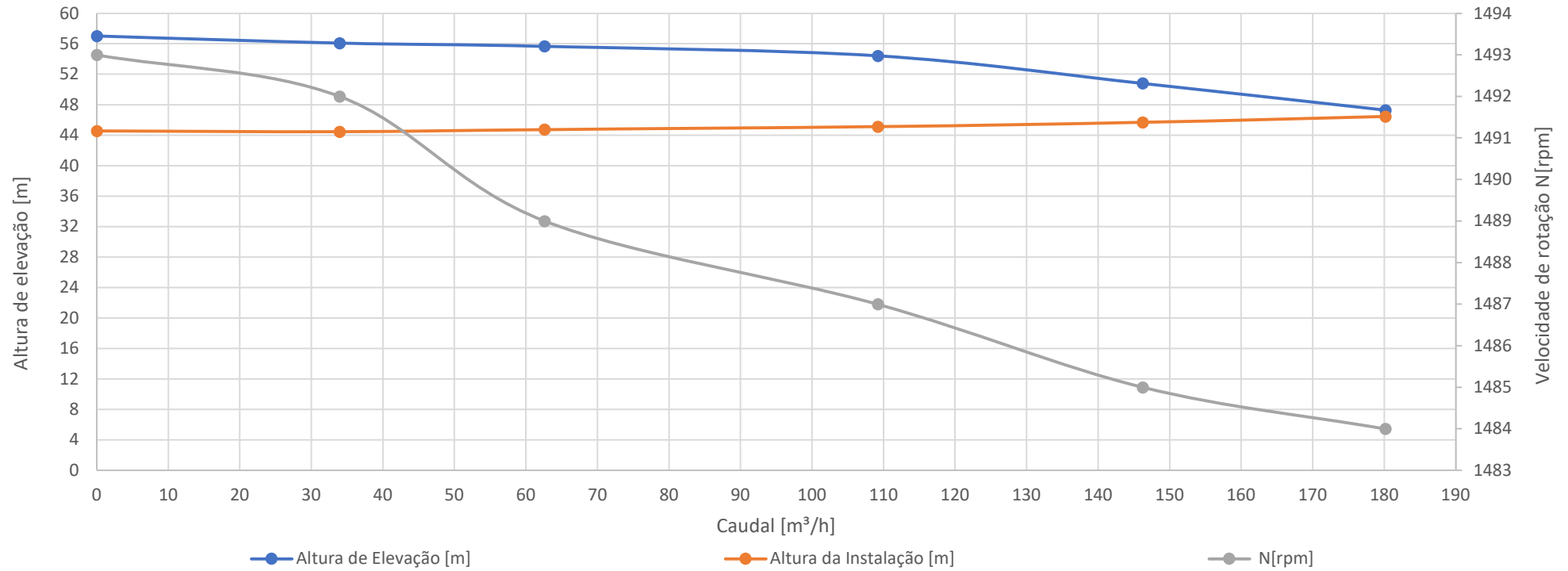


Gráfico da potência solicitada pela bomba em função do caudal

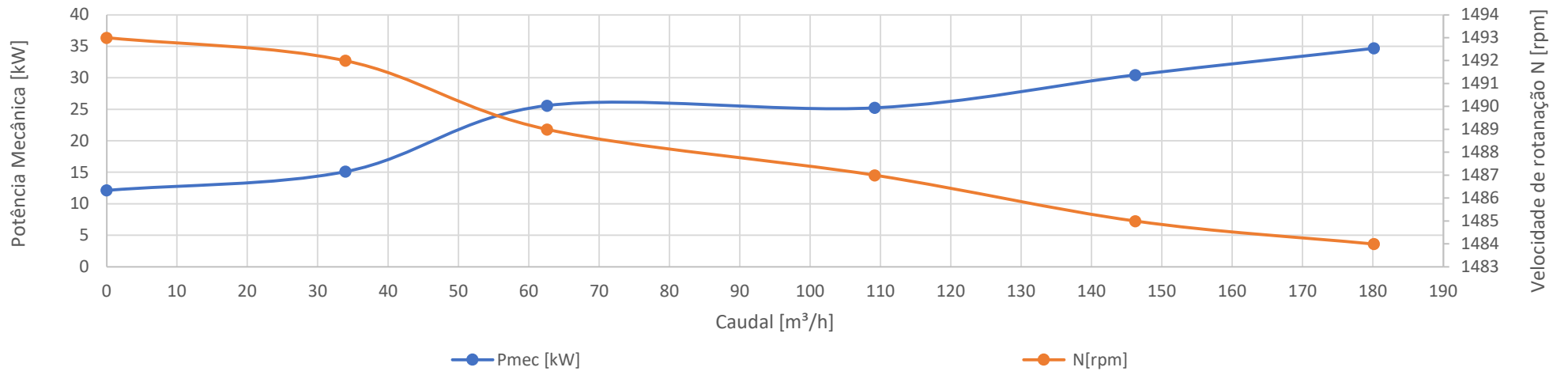
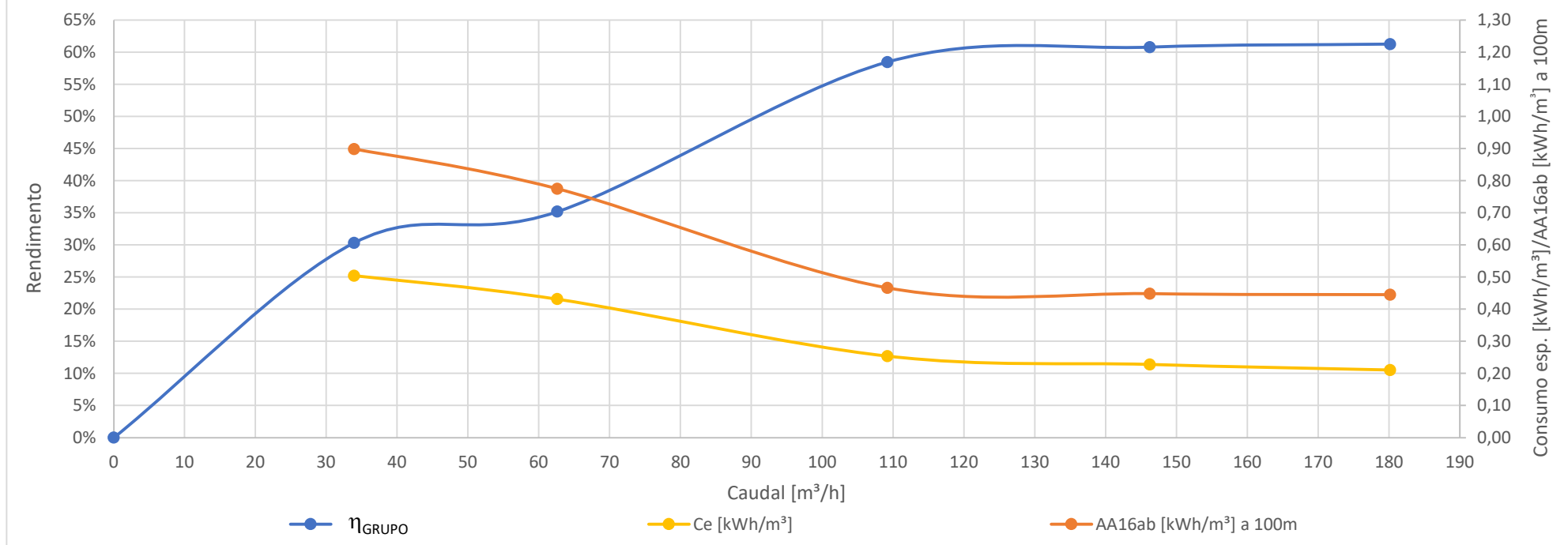


Gráfico do rendimento do grupo eletrobomba Vs consumo específico Vs AA16ab



## OBSERVAÇÕES

Após o ensaio de 3-abr-2023 foi apurado-se existir uma avaria no medidor de caudal da estação elevatória de Madeiras. Esta avaria provocava uma submedição que se considerou constante ao longo de todo o intervalo de caudal de ensaio. Após a substituição do medidor de caudal, comparou-se o caudal máximo para o grupo 1 - 178 m³/h (o grupo 2 já havia sido desmontado para intervenção de manutenção) com o caudal máximo com o anterior medidor de caudal - 74,5 m³/h. Obteve-se assim um valor de correção de 2,389262. Foram corrigidos os valores de caudal obtidos nos ensaios de dia 3-ABR-2023, multiplicando todos os valores por 2,389262.

Este relatório contém portanto os valores corrigidos de caudal.

Q_3mai2023	74,5
Q_18mai2023	178
Fator_conversao	2,389262

<b>Data</b>	03/abr/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes		<b>CAUDAL CORRIGIDO</b>		
<b>Estação Elevatória</b>	Madeiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Alto D. Luís	<b>Grupo</b>	1		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 Premium	<b>S/N</b>	1031803804	<b>P [kW]</b>	45
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	RITZ	<b>Modelo</b>	100-400.2F	<b>S/N</b>	2321261 01	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	187,5
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	50,6

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	250	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	210	mm
DN Tubo aspiração	250	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	179,7	mm
DN Tubo compressão	250	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	810	mm
DN da conduta	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	250	mm
Material conduta	PRFV		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	-120	mm
Extensão da conduta (L)	822	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	250	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1 .	03/04/2023 15:03	0,38	5,90	4,74	1495	0,0	13,20	405	0,000
2 .	03/04/2023 15:02	0,39	5,83	4,75	1495	28,4	16,20	400	0,161
3 .	03/04/2023 14:59	0,39	5,78	4,77	1494	45,9	18,00	401	0,260
4 .	03/04/2023 14:56	0,38	5,58	4,82	1491	114,4	28,00	400	0,648
5 .	03/04/2023 14:53	0,36	5,29	4,86	1489	146,5	32,50	403	0,829
6 .	03/04/2023 14:49	0,36	4,92	4,91	1488	178,0	36,90	404	1,007

Tabela 1 - Dados de ensaio

A informação do caudal foi obtida com base em leituras no ensaio e aplicando um fator de correção apurado após a substituição do medidor de caudal, por divisão entre o novo caudal máximo do grupo 1 e o anterior registo.

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ Diferença de cotas [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1 .	03/04/2023 15:03	0,0	0,0	0,00	56,30	1,02	0	57,32	0,00
2 .	03/04/2023 15:02	0,3	0,2	0,00	55,49	1,02	0	56,50	4,38
3 .	03/04/2023 14:59	0,5	0,3	-0,01	54,98	1,02	0	55,99	7,00
4 .	03/04/2023 14:56	1,3	0,6	-0,06	53,04	1,02	0	54,00	16,84
5 .	03/04/2023 14:53	1,6	0,8	-0,10	50,29	1,02	0	51,21	20,44
6 .	03/04/2023 14:49	1,9	1,0	-0,14	46,51	1,02	0	47,39	22,99

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1 .	03/04/2023 15:03	13,2	90,21%	11,91	0,00%	0,0	0,00%		
2 .	03/04/2023 15:02	16,2	91,16%	14,77	29,64%	4,4	27,02%	1,008	0,570
3 .	03/04/2023 14:59	18,0	91,73%	16,51	42,39%	7,0	38,88%	0,701	0,392
4 .	03/04/2023 14:56	28,0	93,84%	26,27	64,11%	16,8	60,15%	0,453	0,245
5 .	03/04/2023 14:53	32,5	93,99%	30,55	66,90%	20,4	62,89%	0,433	0,222
6 .	03/04/2023 14:49	36,9	94,13%	34,75	66,15%	23,0	62,29%	0,437	0,207

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

	Data ; Hora	$v_{\text{COLETOR}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]
1 .	03/04/2023 15:03	0,0	0,00	44,47	0,09	44,56
2 .	03/04/2023 15:02	0,2	0,00	44,47	0,09	44,56
3 .	03/04/2023 14:59	0,3	-0,01	44,68	0,09	44,76
4 .	03/04/2023 14:56	0,6	-0,06	45,29	0,09	45,32
5 .	03/04/2023 14:53	0,8	-0,10	45,90	0,09	45,89
6 .	03/04/2023 14:49	1,0	-0,14	46,41	0,09	46,36

Tabela 4 - Cálculos da instalação

# INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEW	3K220000225153		2014	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	2088 G3 A20 A1	255749		1994	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Intrumentos de suporte ao ensaio

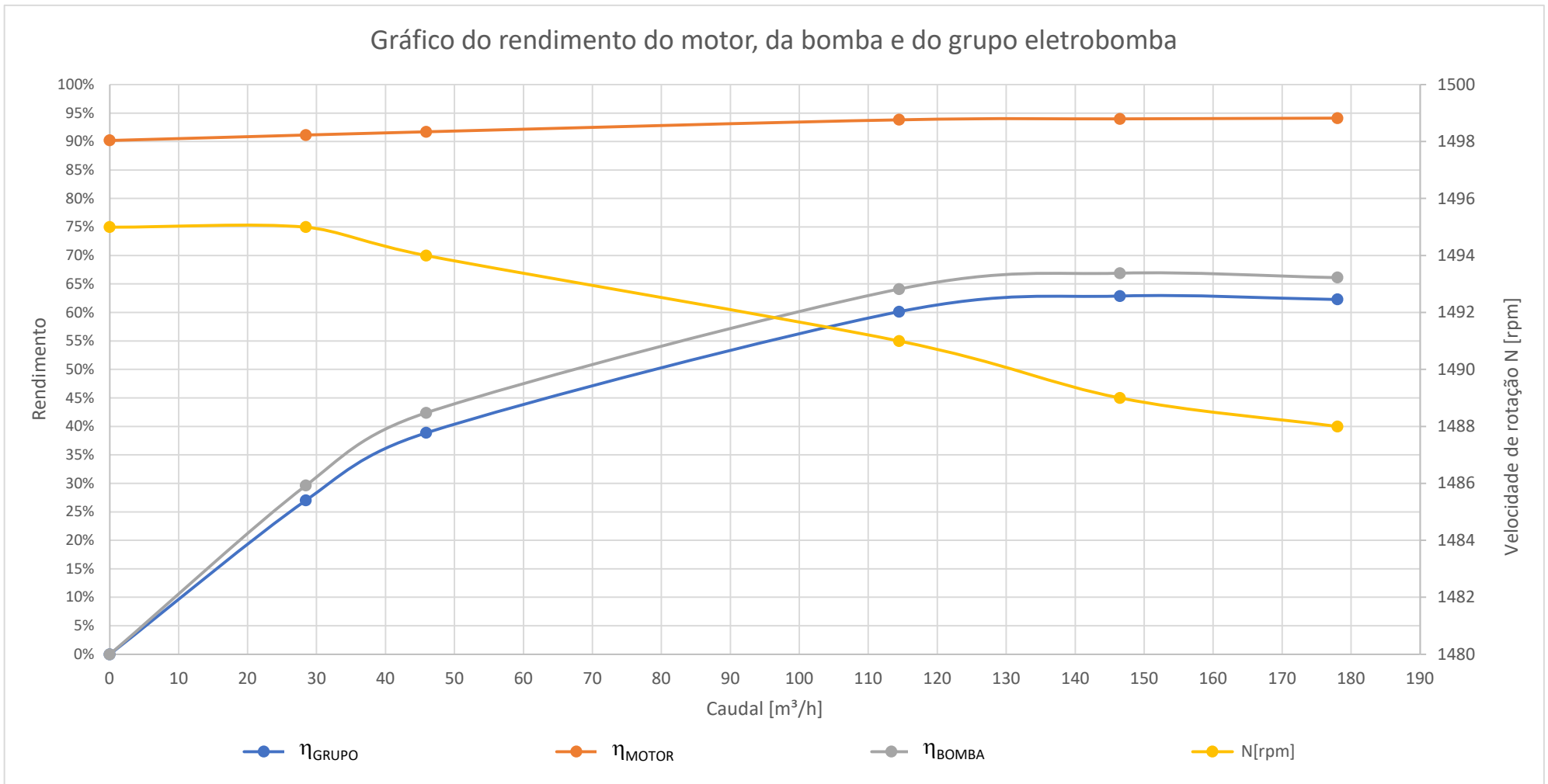


Gráfico de caudal Vs altura de elevação da bomba Vs curva da instalação em função da rotação

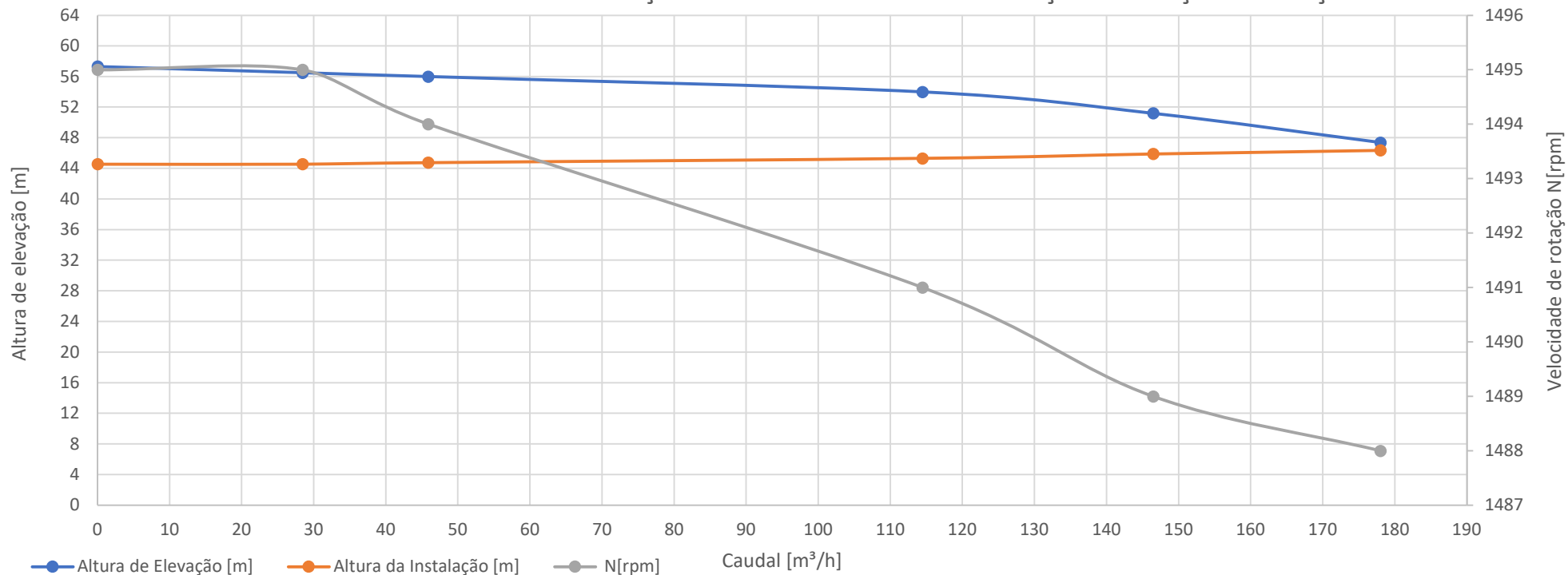


Gráfico da potência solicitada pela bomba em função do caudal

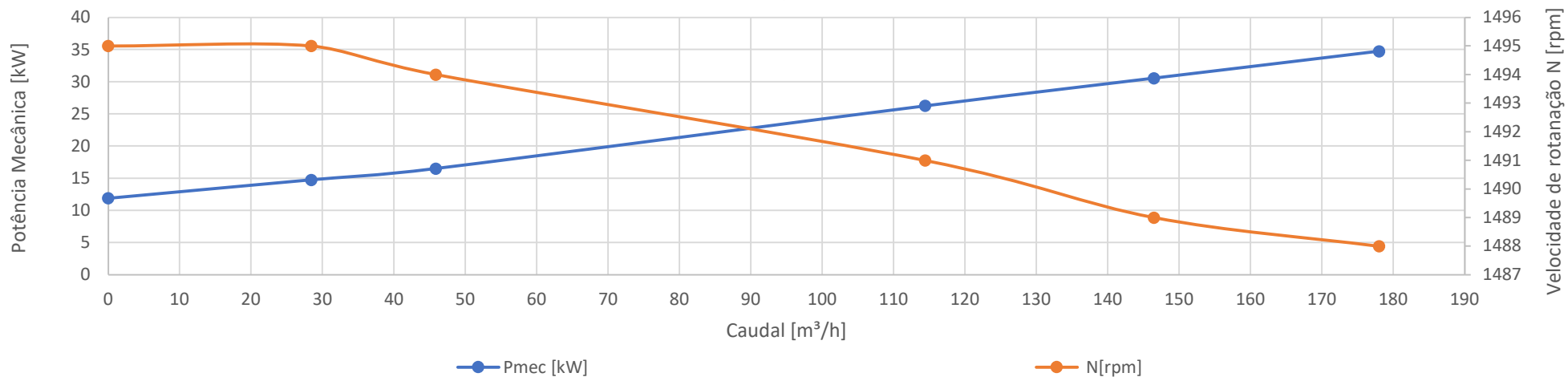
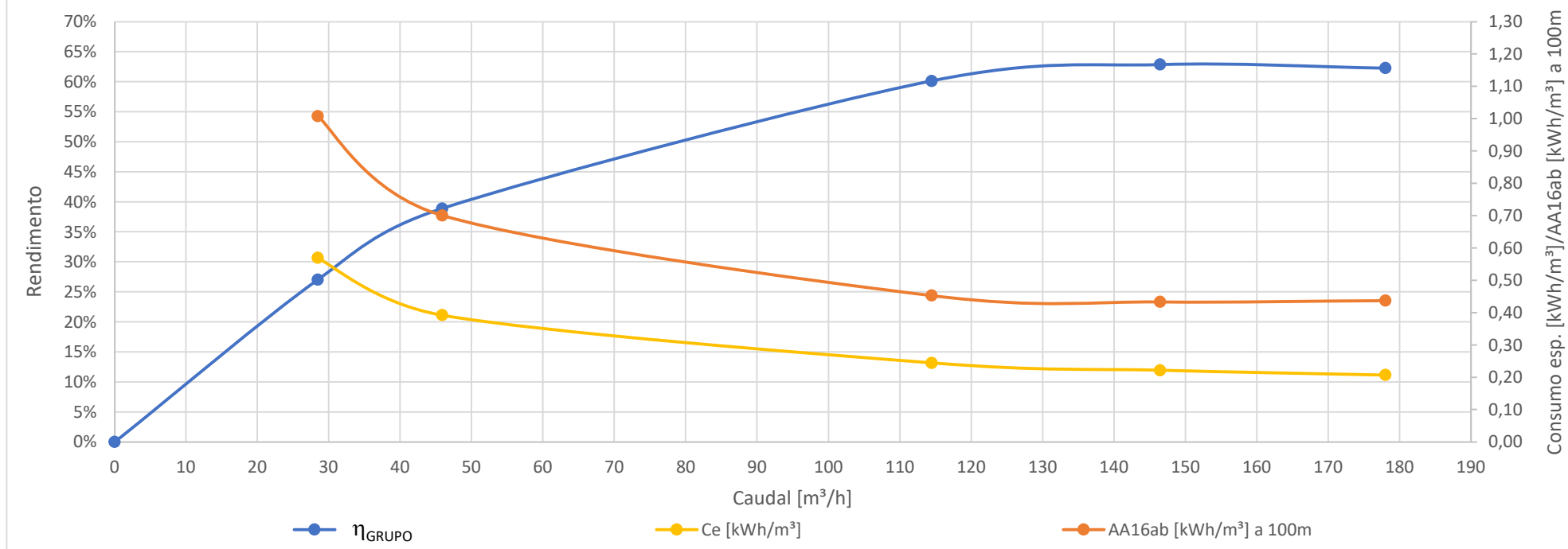


Gráfico do rendimento do grupo eletrobomba Vs consumo específico Vs AA16ab



### OBSERVAÇÕES

Após o ensaio de 3-abr-2023 foi apurado-se existir uma avaria no medidor de caudal da estação elevatória de Madeiras. Esta avaria provocava uma submedição que se considerou constante ao longo de todo o intervalo de caudal de ensaio. Após a substituição do medidor de caudal, comparou-se o caudal máximo para o grupo 1 - 178 m³/h (o grupo 2 já havia sido desmontado para intervenção de manutenção) com o caudal máximo com o anterior medidor de caudal - 74,5 m³/h. Obteve-se assim um valor de correção de 2,389262. Foram corrigidos os valores de caudal obtidos nos ensaios de dia 3-ABR-2023, multiplicando todos os valores por 2,389262.

Este relatório contém portanto os valores corrigidos de caudal.

Q_3mai2023	74,5
Q_18mai2023	178
Fator_conversao	2,389262

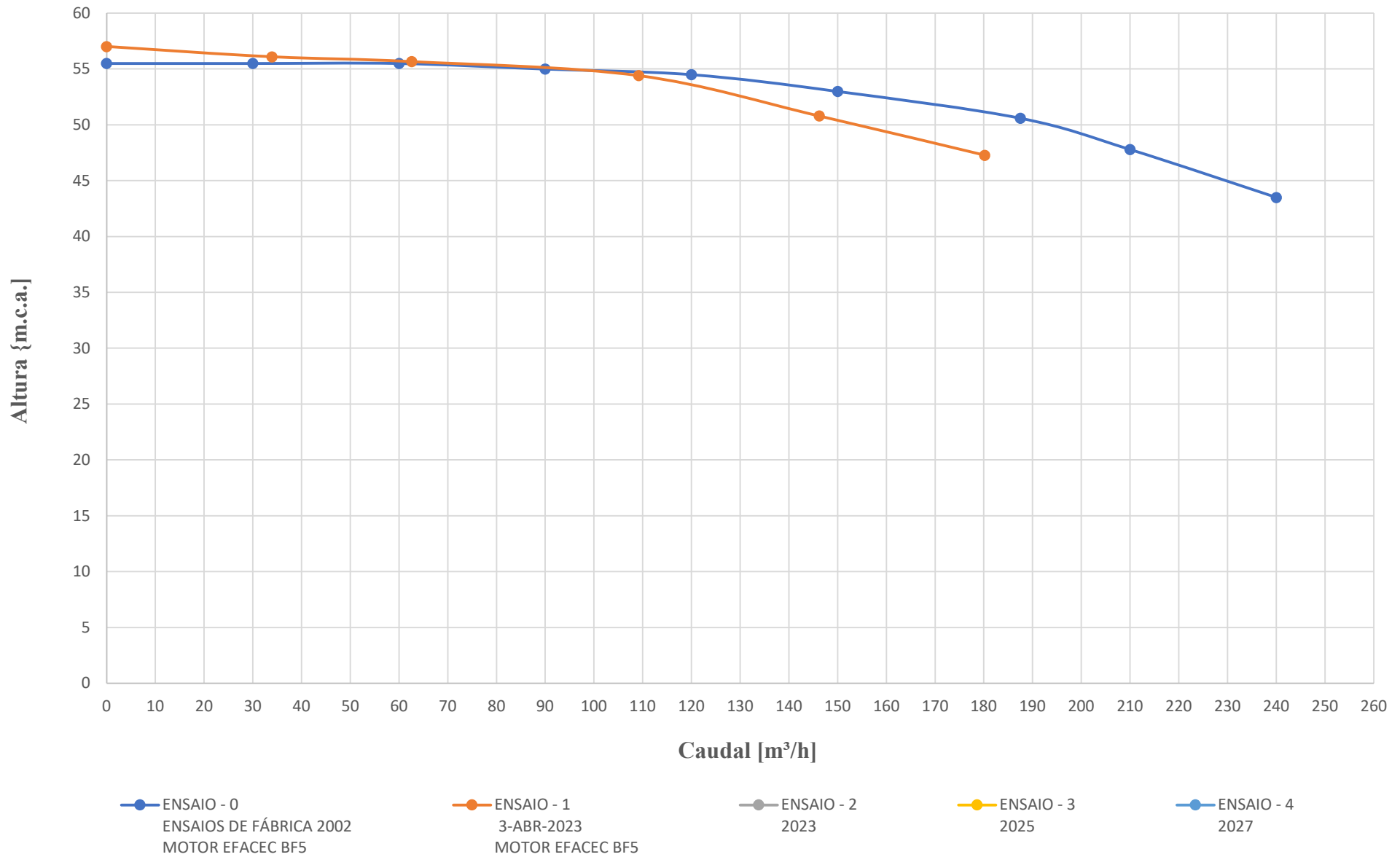


# ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPOS ELETROBOMBA COMPARATIVO HISTÓRICO

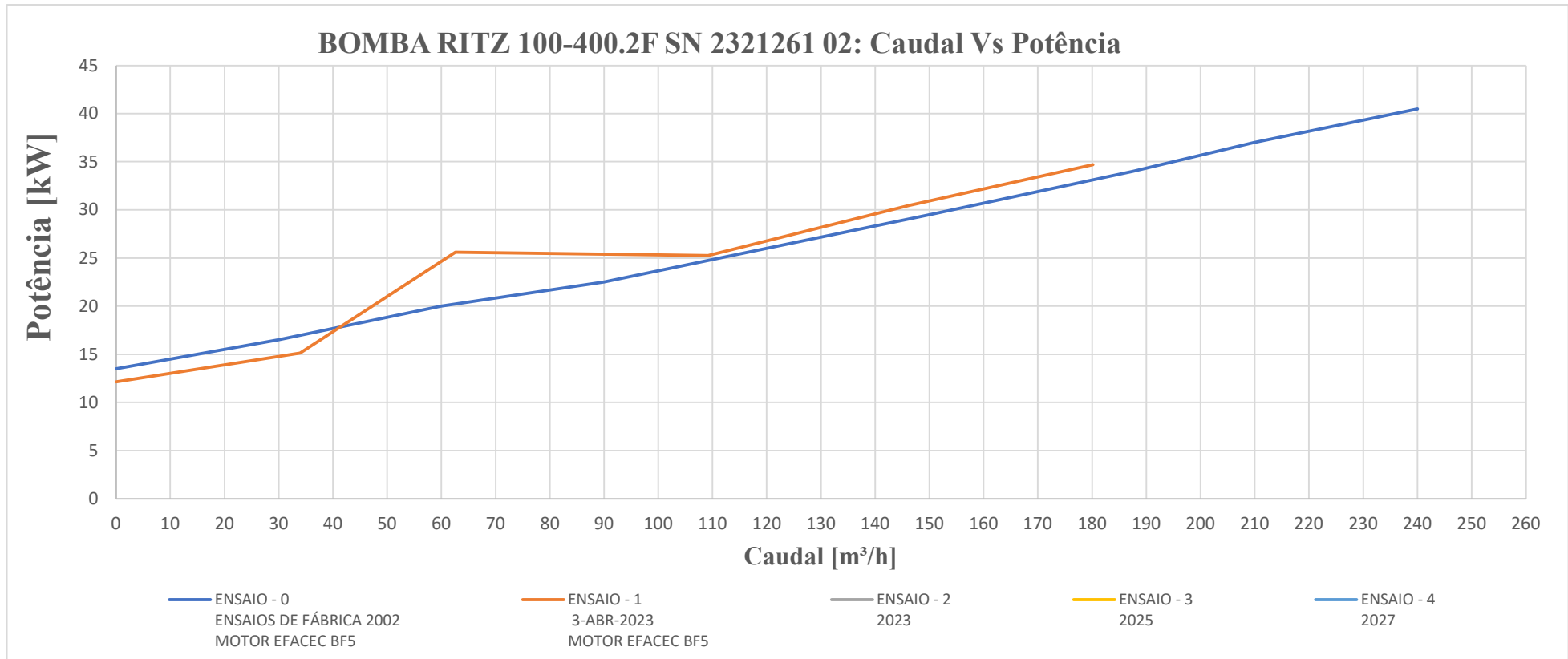
<b>Estação Elevatória</b>	Madeiras	<b>Destino Elev.</b>	Res. Alto D. Luís	<b>Grupo</b>	2			
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	BF5 225M44	<b>S/N</b>	942305007	<b>P [kW]</b>	45
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	RITZ	<b>Modelo</b>	100-400.2F	<b>S/N</b>	2321261 02	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	187,5
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	50,6

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]
0	55,5	0,00	57,02						
30	55,5	33,93	56,09						
60	55,5	62,60	55,67						
90	55	109,19	54,41						
120	54,5	146,22	50,80						
150	53	180,15	47,28						
187,5	50,6								
210	47,8								
240	43,5								

### BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Caudal Vs Altura

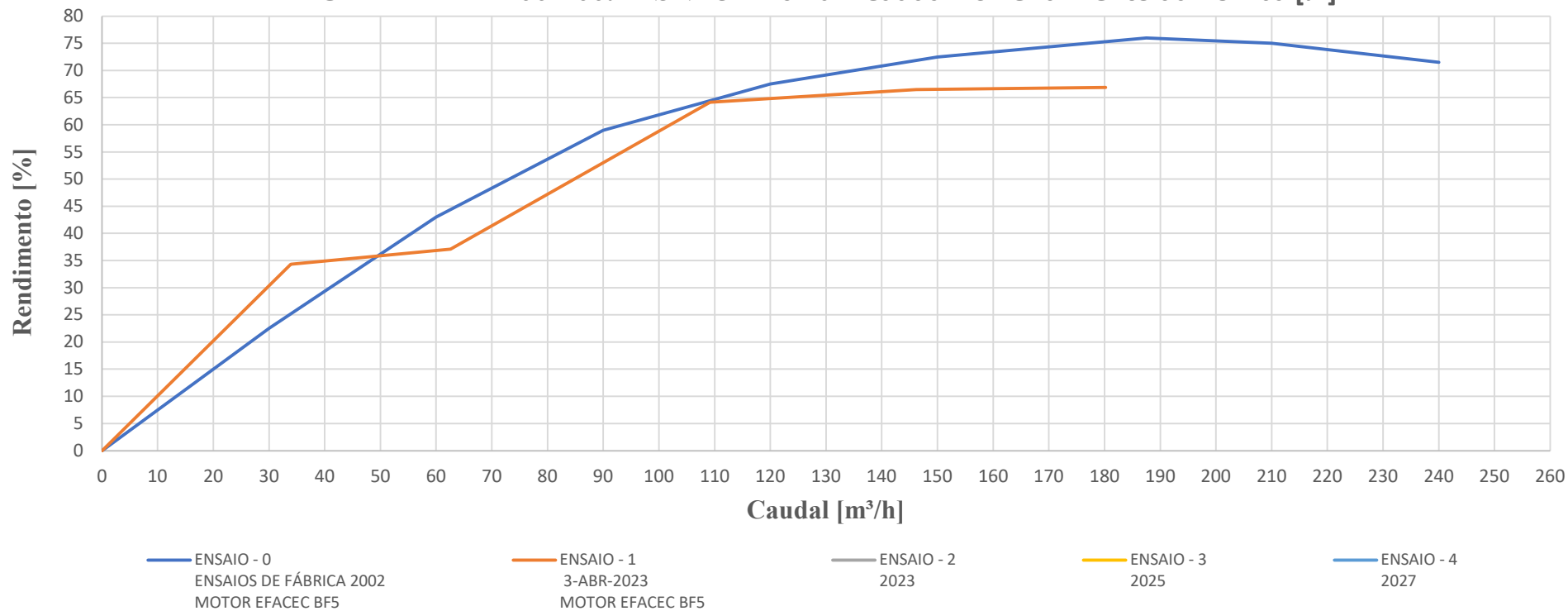


ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]
0	13,5	0,00	12,15						
30	16,5	33,93	15,12						
60	20	62,60	25,6						
90	22,5	109,19	25,25						
120	26	146,22	30,45						
150	29,5	180,15	34,7						
187,5	34								
210	37								
240	40,5								



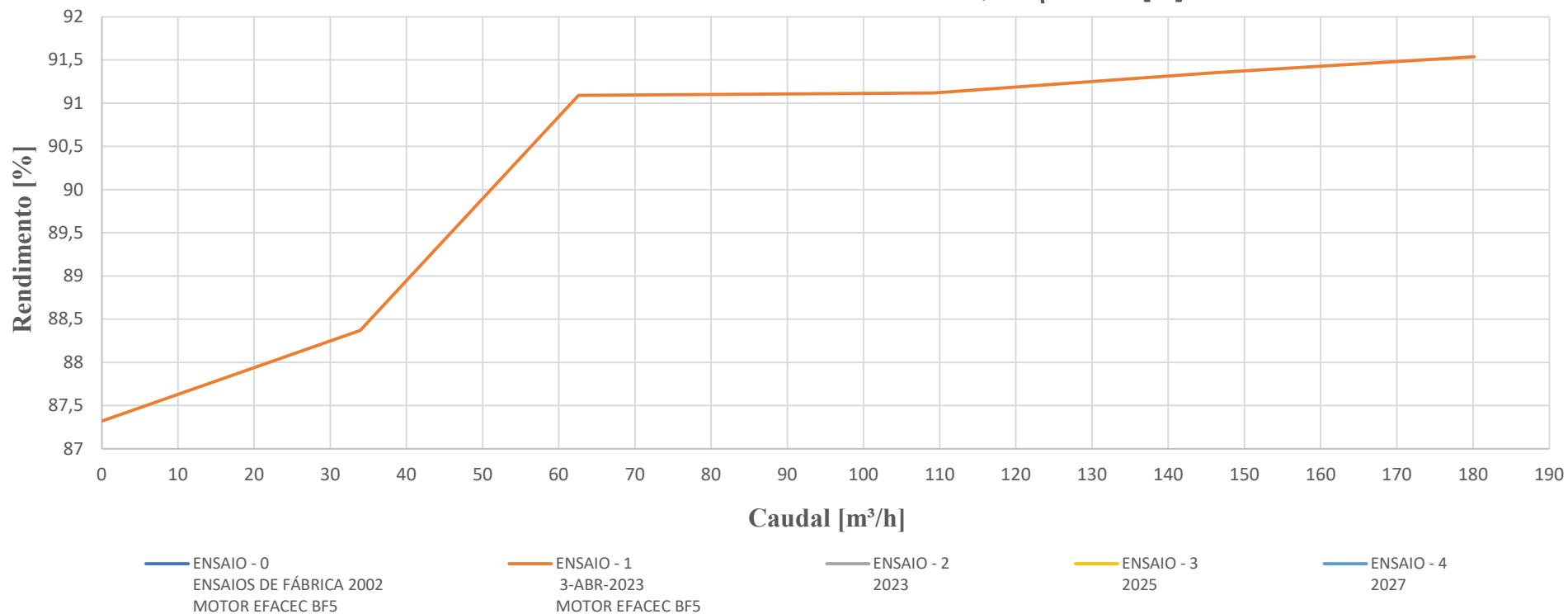
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0	0,0	0,0						
30	22,5	33,9	34,3						
60	43	62,6	37,1						
90	59	109,2	64,1						
120	67,5	146,2	66,5						
150	72,5	180,2	66,9						
187,5	76								
210	75								
240	71,5								

**BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Caudal Vs Rendimento da Bomba [%]**



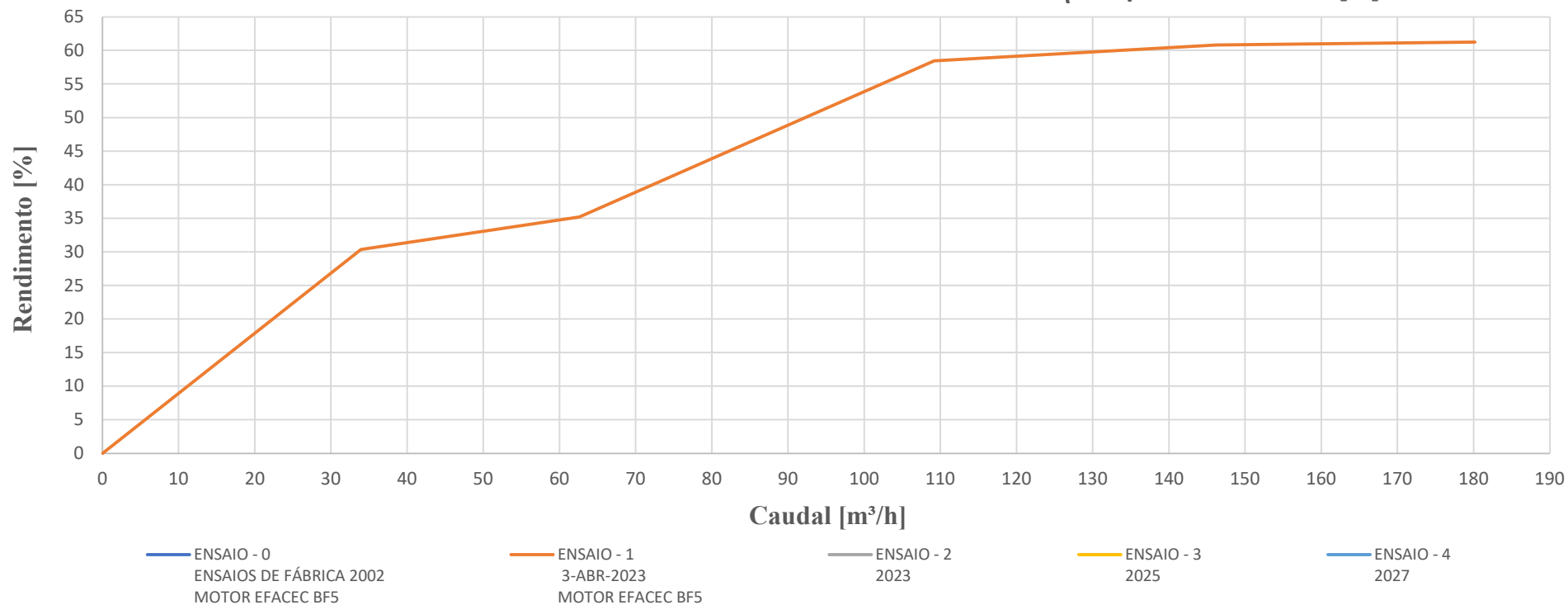
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		0,00	87,32						
		33,93	88,37						
		62,60	91,09						
		109,19	91,12						
		146,22	91,36						
		180,15	91,54						

**BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Q Vs η Motor [%]**



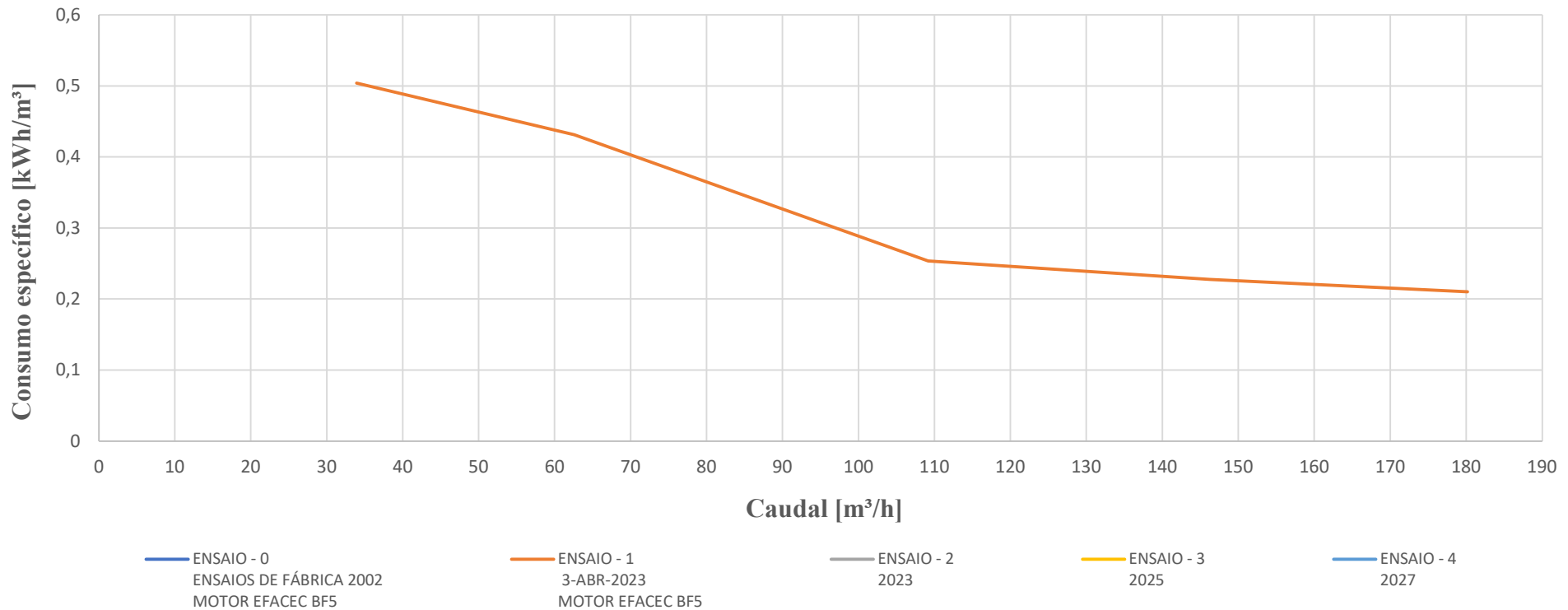
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		0	0,0						
		34	30,3						
		63	35,2						
		109	58,4						
		146	60,8						
		180	61,2						

**GRUPO COM BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Q Vs η Grupo Eletrobomba [%]**

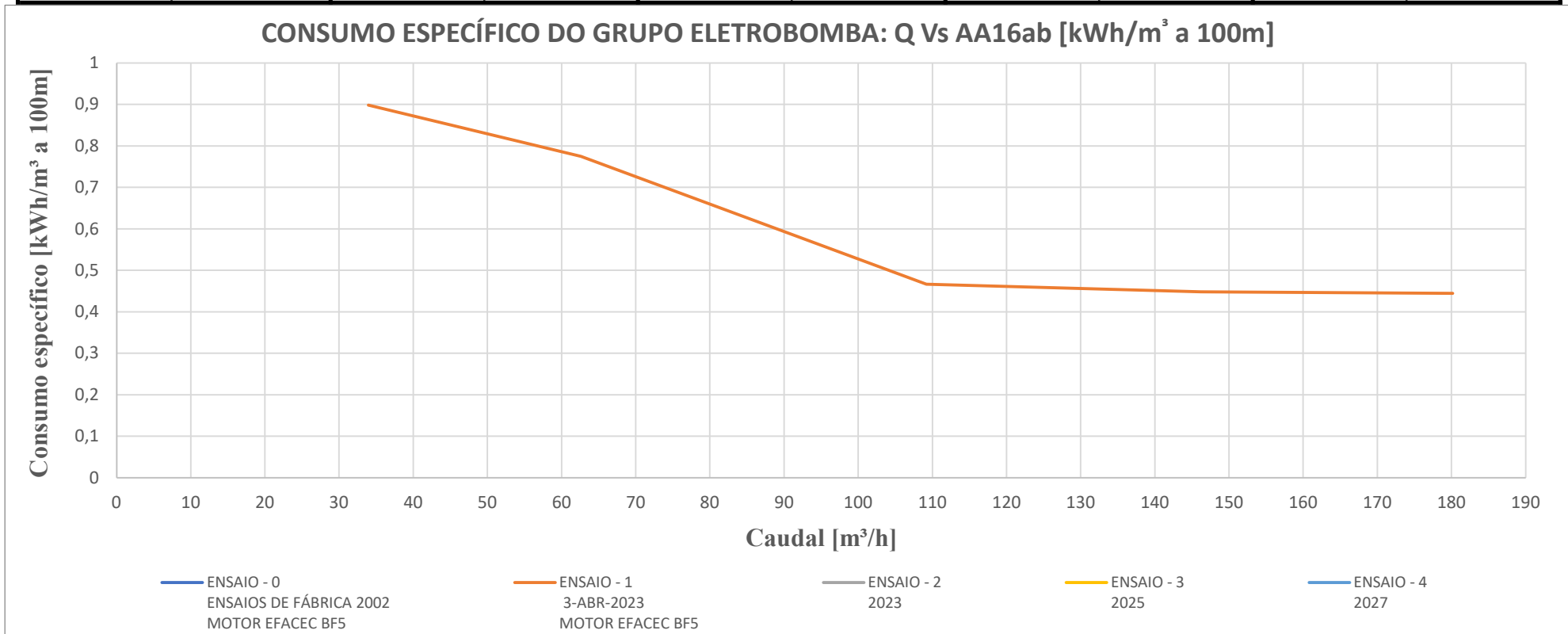


ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	Ce [kW/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		34	0,50						
		63	0,43						
		109	0,25						
		146	0,23						
		180	0,21						

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs Consumo específico [kWh/m³]



ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 2023		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kW/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		34	0,90						
		63	0,77						
		109	0,47						
		146	0,45						
		180	0,44						



## **OBSERVAÇÕES**

Dos ensaios de 3-ABR-2023 foi possível observar alguma perda de capacidade de elevação que implicava um diminuição da capacidade de elevação em cerca de 35 m<sup>3</sup>/h (215 m<sup>3</sup>/h para 180 m<sup>3</sup>/h). Ao nível do rendimento da bomba está a perder cerca de 7 pontos percentuais.

Para o grupo eletrobomba, em termos do indicador ERSAR AA16ab, o valor situa-se nos 0,44 kWh/m<sup>3</sup> a 100m, enquanto que o consumo específico do grupo era de 0,21 kWh/m<sup>3</sup>.

Data:	09/mai/23	Responsável:	Miguel Fernandes		
Marca	RITZ	Modelo	100-400.2F	S/N	2321261 02
Est. Elev.	MADEIRAS	Destino	Alto Dom Luís	Gr.	GRUPO 2
Local	Oficina EPAL Asseiceira	Localidade	Asseiceira-Tomar		

## 1. Avaliação da bomba antes da desmontagem

1.1	Conservação do revestimento exterior	Satisfatório.
1.2	Estado da flange de compressão	Satisfatório
1.3	Estado da flange de aspiração	Satisfatório
1.4	Estado dinâmico do conjunto rotórico	Nada a registar
1.5	Estado das alhetas de aspiração do impulsor	Bom
1.6	Estado do veio	Nada a registar
1.7	Estado do acoplamento	Intacto
1.8	Estado do empanque	Bom
1.9	Estado da caixa de rolamentos	Bom
1.10	Avaliação de perdas de óleo	Sem perda de óleo



**Observações** A receção da bomba em oficina revelou uma condição muito boa em termos mecânicos.

## 2. Avaliação da voluta

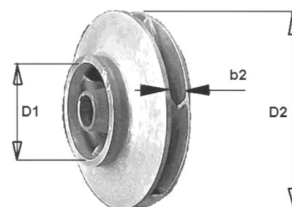
2.1	Conservação do revestimento interior	Degradado.
2.2	Estado do material de base	Bom
2.3	Estado do canal de entrada	Bom
2.4	Estado do canal de saída	Bom
2.5	Estado dos pés de apoio	Bom
2.6	Estado dos pernes de fecho	Bom



**Observações** A voluta apresentava o seu interior com alguma oxidação. O exterior estava com revestimento bem conservado. O pés da bomba estavam oxidados na zona de contacto com o chassis.

## 3. Avaliação do impulsor

3.1	Material	Bronze
3.2	D1 [mm]	154,7
3.3	D2 [mm]	392
3.4	b2 [mm]	32
3.5	Nº alhetas	6
3.6	massa [kg]	-
3.7	Desgaste nos canais de entrada	Inexistente
3.8	Desgaste nos canais de saída	Inexistente



**Observações** O impulsor apresentava alguma sujidade mas com total integridade de material.

## 4. Avaliação do veio

4.1	Material	AISI 420	4.2	Corrosão	Sem Corrosão
4.2	Massa	-			
4.3	L [mm]	595			
4.3	L1 [mm]	-	4.3	D1 [mm]	49,3
4.3	L2 [mm]	-	4.3	D2 [mm]	55,15
4.3	L3 [mm]	-	4.3	D3 [mm]	55,2
4.4	L4 [mm]	-	4.4	D4 [mm]	42,1
4.4	Desgaste no apoio do rolamento do ataque				Sem desgaste
4.5	Desgaste no apoio do rolamento do oposto				Sem desgaste
4.6	Desgaste no apoio do impulsor				Sem desgaste
4.7	Desgaste na zona do empanque				Mediano



### Desenho

**Observações** Veio em condições suficientes para a continuidade em serviço.

## 5. Avaliação do empanque

5.1	Integridade	-
5.2	Estanqueidade	Satisfatório



**Observações** O empanque encontrava-se totalmente operacional com vestígios de perdas. Atendendo ao número de horas de funcionamento da bomba, recomenda-se a substituição por desgaste dos materiais de vedação.

## 6. Avaliação de caixas e de rolamentos

6.1	Estado do rolamento do ataque	Desgaste normal
6.2	Estado do rolamento do oposto	Desgaste normal
6.3	Avaliação do compensador	Boa condição
6.4	Avaliação do óleo contido na caixa	Escurecido
6.5	Ref. Rolamento ataque	SKF 6211
6.6	Ref. Rolamento oposto	SKF 6211



**Observações** Após a abertura da caixa de rolamentos constatou-se a existência de uma quantidade lubrificante (massa) insuficiente que poderia, a curto ou médio prazo, provocar uma avaria significativa na bomba.

Data: seg 31/07/2023 Responsável: Miguel Fernandes

## 0. Sumário executivo

Não foi respeitado o prazo pré-acordado para entrega da bomba até dia 31MAI2023, tendo a bomba sido entregue na ETA da Asseiceira a 6JUN2023 pelo Sr. António Fadigas da empresa Machado & Silveira.  
Na tampa da bomba, ao nível do revestimento exterior, foi diagnosticada no revestimento da tampa da bomba uma zona sem qualquer uma das duas camadas que deveriam ter sido aplicadas.  
A chapa de características da bomba não foi devolvida com a bomba, sabendo-se mais tarde que desapareceu.  
Houve necessidade de recolher a bomba duas vezes porque a espessura do revestimento aplicado na zona de trabalho do empanque, não permitia montar o empanque. Só foi possível resolver esta situação, levando as peças da bomba à empresa Machado & Silveira para se proceder à diminuição da espessura do revestimento e executar a montagem logo de seguida, para se comprovar a correta adequação do trabalho.

## 1. Caracterização da instalação

1.1 Sistema	Castelo do Bode	1.5 Subsistema	Médio Tejo Sul
1.2 Designação	EE Madeiras	1.6 Coordenadas	N 39°28'45.1" W 8°21'35.9"
1.3 Destino	Reservatório de Alto de Dom Luís		39.479202 -8.359957
1.4 Grupo	Grupo 2		

Observações: Esta instalação foi projetada num sistema de funcionamento 1+1, tendo ficado o grupo 1 disponível, durante todo o período de intervenção no grupo 2.

## 2. Caracterização da bomba

2.1 Marca	RITZ	2.8 Empanque	Mecânico	2.15 Aspiração - Tipo	Axial
2.2 Modelo	100-400.2F	2.9 Veio	AISI 420	2.16 Compressão - Tipo	Topo (radial)
2.3 Número de Série	2321261 02	2.10 Corpo	FF	2.17 Aspiração - Flange	DN125/PN16 DIN2633
2.4 Caudal nominal [m³/h]	187,5	2.11 Anel de Desgaste	Bronze	2.18 Compressão - Flange	DN100/PN16 DIN2633
2.5 Altura nominal [m.c.a.]	50,6	2.12 Impulsor - Material	Bronze	2.19 Massa [kg]	-
2.6 N [rpm]	1470	2.13 Impulsor - Tipo	Fechado	2.20 Ano	1994
2.7 Potência Nominal [kW]	34,1	2.14 Impulsor - D [mm]	397		29 anos de serviço

Observações: Na verificação de receção da bomba constatou-se que a chapa de características não foi entregue.

## 3. Caracterização do trabalho realizado - voluta

3.1 Tipo de trabalho	Revestimento	3.5 Item 2.	Lavagem a vapor	3.9 Item 6.	2x Eurokote 468 Thixo
3.2 Empresa	Machado & Silveira	3.6 Item 3.	Secagem com chama red.	3.10 Item 7.	Espessura final 0,8 a 1mm
3.3 Procedimento	Manual	3.7 Item 4.	Enchim. c/ Metaline SXL	3.11 Item 8.	1 162,50 €
3.4 Item 1.	Decap. carboreto alum.SA1	3.8 Item 5.	Eurokote Red Brown	3.12 Item 9.	

Observações: O trabalho de revestimento realizado na voluta apresenta um nível de acabamento visivelmente bom. Algumas das peças da bomba foram remetidas sem o nível de limpeza adequado.

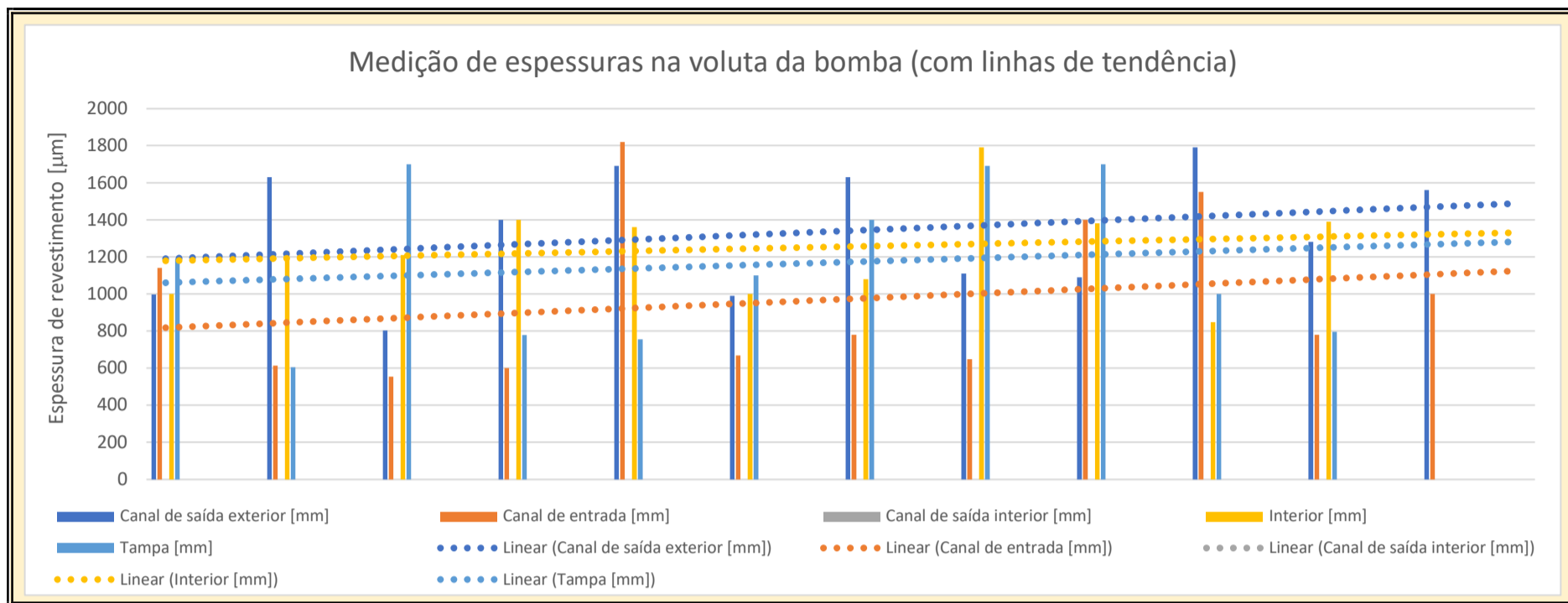
Fotos



## 4. Avaliação do trabalho realizado - voluta: espessuras

4.1 Canal de saída exterior [µm]	997	1630	803	1400	1690	990	1630	1110	1090	1790	1280	1560	Média	1331	Desvio Padrão	315,1
4.2 Canal de entrada [µm]	1140	613	554	600	1820	668	779	648	1400	1550	780	999	Média	962,6	Desvio Padrão	406
4.3 Canal de saída interior [µm]	Não foi possível ler valores atendendo à reduzida dimensão do canal.												Média		Desvio Padrão	
4.4 Interior [µm]	1000	1230	1210	1400	1360	1000	1080	1790	1380	847	1390		Média	1244	Desvio Padrão	248,8
4.5 Tampa [µm]	1190	604	1700	778	755	1100	1400	1690	1700	1000	795		Média	1156	Desvio Padrão	393,6
4.6 [µm]													Média		Desvio Padrão	

Gráfico



Certificações

CARSO - LABORATOIRE SANTÉ ENVIRONNEMENT HYGIÈNE DE LYON  
 Laboratoire Agréé pour les analyses d'eaux par le Ministère de la Santé  
 Laboratoire habilité par le Ministère chargé de la santé en application de l'article R. 1321-52 du code de la santé publique  
**ATTESTATION DE CONFORMITE SANITAIRE (ACS)**  
 Certificate of sanitary conformity  
 Conformément à l'arrêté du 29 mai 1997 modifié et aux circulaires du Ministère de la santé  
 DGS/VS4 n° 99/217 du 12 avril 1999 et DGS/VS4 n° 2000/232 du 27 avril 2000

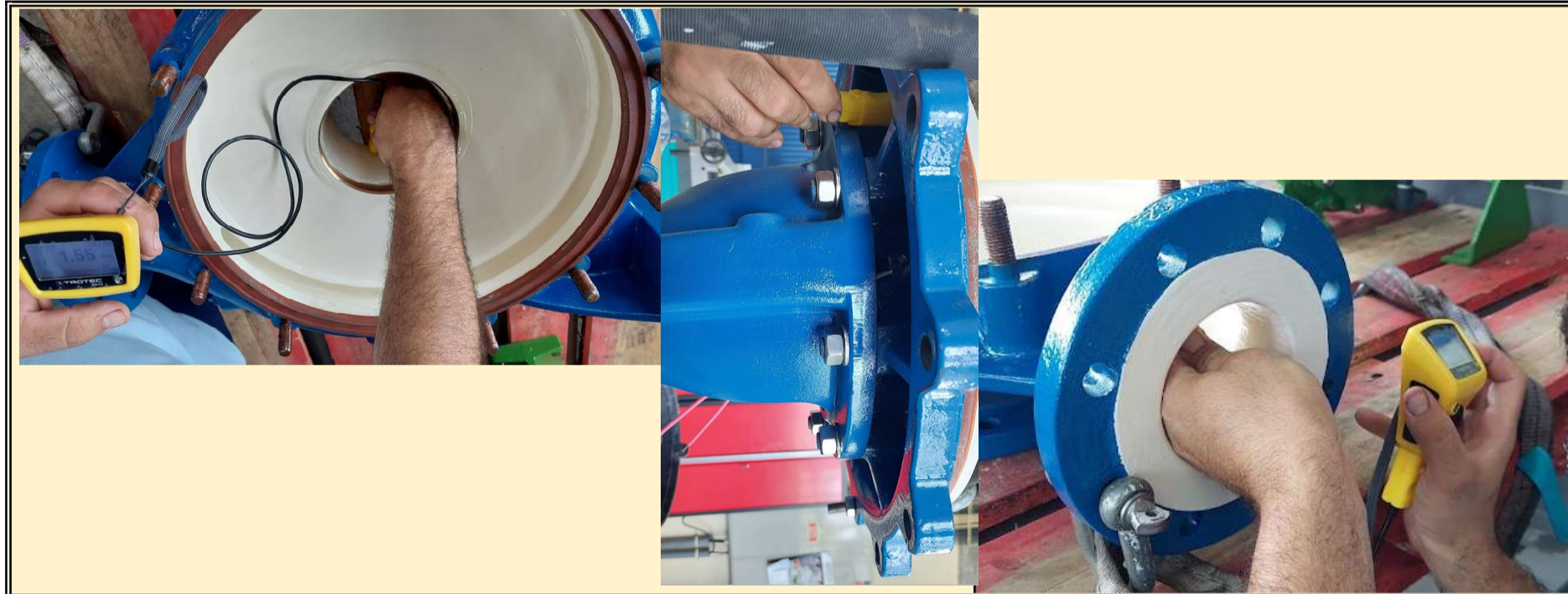
Coordonnées du demandeur / Contact details of the ACS owner	Nom(s) commercial(aux) du produit fini / Commercial name(s) of the finished product
AXSON France S.A.S. Z.I. A - Allée Paul Sabatier B.P. 88 27940 AUBEVOYE	EUROKOTE 468 Thixo Ivoirine

Type de produit fini / Type of finished product:  
 tube / pipe  joint / seal, gasket, o-ring...  revêtement / coating  
 produit de jointoyage /  raccord et manchon / fl...  composant d'accessoires /   
 sealing product  fittings  accessories component  
 autre / other

Nature du matériau / Type of material:  
 polychlorure de vinyle PVC  polybutylène PB  éthylène-propylène EPDM  
 PVC surchloré PVC-C  polyamide PA  butadiène-acrylonitrile NBR  
 polyéthylène PE  polytétrafluoroéthylène PTFE  autre / other  
 polyéthylène réticulé PEX  acrylonitrile-butadiène-styrène ABS  
 polypropylène PP  à base de résine époxydique / epoxy resin

Commentaires / Comments : Renouvellement de l'ACS 09 MAT LY 025.

Registos



Observações

Não foi possível fazer medição de espessuras no canal interior de saída, por motivo do formato ser excessivamente redondo face aos requisitos do sensor. O desvio padrão das medidas de espessura, sempre superiores a 20% do valor médio das medidas, evidencia o processo manual de aplicação dos produtos.  
 Instrumento de medição de espessuras: Trotec BB30 SN 8378 Ano:2019 (Parametrização para medição em ferro como material de base).

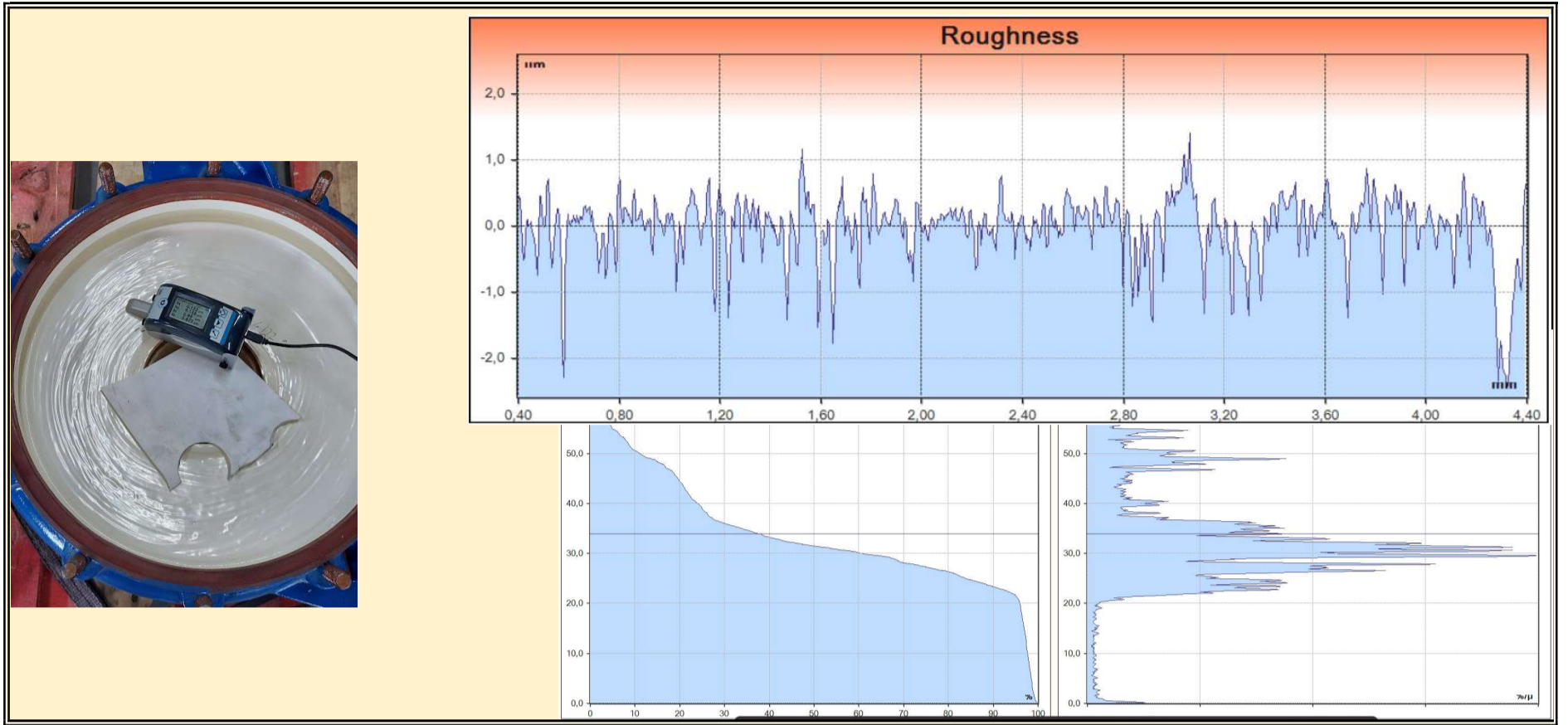
## 5. Avaliação do trabalho realizado - voluta: rugosidades

	Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPC
5.1 Tampa P1 [µm]	0,2	0,3	2,7	1,8	0,6	2,7	56,9	202
5.2 Tampa P2 [µm]	0,3	0,5	3,8	2,8	1,1	3,8	48,2	215
5.3 Tampa P3 [µm]	0,3	0,4	3,8	2,4	0,9	3,2	46,6	247
Média	0,3	0,4	3,6	2,5	0,9	3,3	48,5	228,5

5.4 Tampa P4 [µm]	0,3	0,5	3,9	2,8	0,9	3,4	42,2	250
5.5 Canal de entrada P1 [µm]	0,3	0,4	3,8	1,8	0,4	3,3	76,9	182
5.6 Canal de saída P1 [µm]	0,2	0,2	2,3	1,2	0,3	2,3	54,4	240
5.7 Interior P1 [µm]	0,1	0,2	1,0	0,9	0,2	1,0	37,3	372
5.8 Interior P2 [µm]	0,1	0,2	1,5	1,1	0,3	1,4	29,6	432
5.9 Interior P3 [µm]	0,1	0,2	1,3	0,9	0,2	1,3	40,8	302
5.10 Interior P4 [µm]	0,2	0,2	1,3	1,1	0,3	1,2	52,0	272

	0,3	0,4	3,8	1,8	0,4	3,3	76,9	182,0
	0,2	0,2	2,3	1,2	0,3	2,3	54,4	240,0
Média	0,1	0,2	1,3	1,0	0,3	1,2	39,9	344,5

Gráfico



Observações

No tampa e na voluta, tratando-se de áreas de maior dimensão circulares, foram executadas leituras em 4 zonas distintas, sensivelmente com 90° de distância entre si.  
 Instrumento de medição de rugosidades: Tesa Rugosurf 20 SN XXXX Ano:2023.

## 6. Caracterização do trabalho realizado - impulsor

6.1 Tipo de trabalho	-	6.5 Item 2.	-	6.9 Item 6.	-
6.2 Empresa	-	6.6 Item 3.	-	6.10 Item 7.	-
6.3 Procedimento	-	6.7 Item 4.	-	6.11 Item 8.	-
6.4 Item 1.	-	6.8 Item 5.	-	6.12 Dext [mm]	

Observações

O impulsor, em bronze, apresenta um bom estado de conservação, sem perda de material.  
 O único trabalho realizado com o impulsor foi a equilibragem.

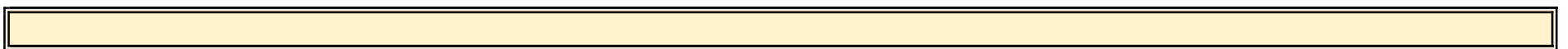
Fotos



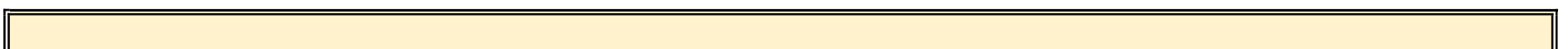
## 7. Avaliação do trabalho realizado - impulsor: espessuras

7.1 Impulsor - Exterior [µm]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Média	Desvio Padrão
7.2 Impulsor-pás de aspiração [µm]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Média	Desvio Padrão
7.3 Impulsor - canal de saída [µm]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Média	Desvio Padrão
7.4 [µm]												Média	Desvio Padrão
7.5 [µm]												Média	Desvio Padrão
7.6 [µm]												Média	Desvio Padrão

Gráfico



Registos



Observações

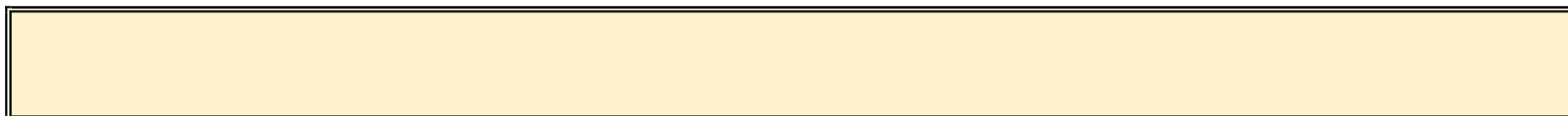
Impulsor em bronze sem revestimento.

## 8. Avaliação do trabalho realizado - impulsor: rugosidades

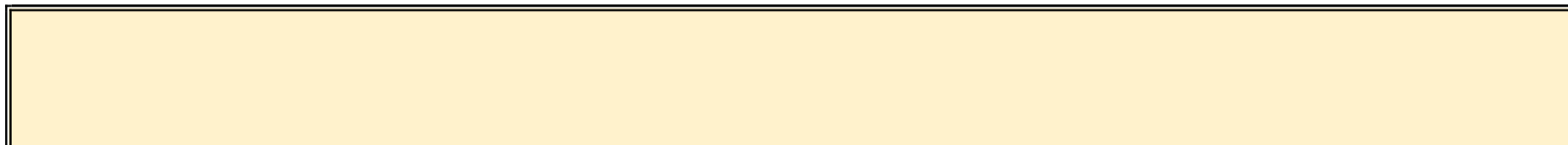
	Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPc
8.1 Exterior entr. P1 [µm]								
8.2 Exterior entr. P2 [µm]								
8.3 Exterior entr. P3 [µm]								
8.4 Exterior entr. P4 [µm]								
8.5 Canal de saída P1 [µm]	5,8	7,3	37,0	28,4	16,3	35,9	226,8	47
8.6 Canal de saída P2 [µm]	8,6	10,9	66,2	43,3	18,6	58,4	216,0	42
8.7 Canal de saída P3 [µm]	6,7	7,9	35,8	31,2	15,0	34,8	181,1	55
8.8 Canal de saída P4 [µm]	7,0	8,7	46,9	35,6	16,4	46,6	233,7	45
8.9 Canal de saída P5 [µm]	7,0	8,6	53,5	35,9	17,3	53,1	190,5	50
8.10 Canal de saída P6 [µm]	6,8	8,0	45,2	32,0	19,6	45,2	266,5	35
8.11 Canal de saída P7 [µm]	-	-	-	-	-	-	-	-
8.12 Canal de entrada P1 [µm]	8,7	10,8	63,5	38,4	40,6	63,5	660,9	15
8.13 Canal de entrada P2 [µm]	4,6	6,0	55,6	23,7	14,2	52,5	318,3	32
8.14 Canal de entrada P3 [µm]	5,8	7,5	57,7	33,4	17,1	57,7	197,9	50
8.15 Canal de entrada P4 [µm]	3,2	4,4	32,7	19,4	12,0	32,7	259,1	40
8.16 Canal de entrada P5 [µm]	5,0	6,7	46,7	29,4	16,8	46,7	278,2	32
8.17 Canal de entrada P6 [µm]	3,3	4,0	27,5	15,6	9,6	23,8	226,7	42
8.18 Canal de entrada P7 [µm]	-	-	-	-	-	-	-	-

	Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPc
Média								
	5,8	7,3	37,0	28,4	16,3	35,9	226,8	47
	8,6	10,9	66,2	43,3	18,6	58,4	216,0	42
	6,7	7,9	35,8	31,2	15,0	34,8	181,1	55
	7,0	8,7	46,9	35,6	16,4	46,6	233,7	45
	7,0	8,6	53,5	35,9	17,3	53,1	190,5	50
	6,8	8,0	45,2	32,0	19,6	45,2	266,5	35
	-	-	-	-	-	-	-	-
	8,7	10,8	63,5	38,4	40,6	63,5	660,9	15
	4,6	6,0	55,6	23,7	14,2	52,5	318,3	32
	5,8	7,5	57,7	33,4	17,1	57,7	197,9	50
	3,2	4,4	32,7	19,4	12,0	32,7	259,1	40
	5,0	6,7	46,7	29,4	16,8	46,7	278,2	32
	3,3	4,0	27,5	15,6	9,6	23,8	226,7	42
	-	-	-	-	-	-	-	-

Gráfico



Observações



## 9. Avaliação da voluta da bomba - revestimento exterior

- 9.1 Tipo de trabalho
- 9.2 Empresa
- 9.3 Procedimento
- 9.4 Primário

Revestimento
Machado & Silveira
Manual
Interzinc® 52

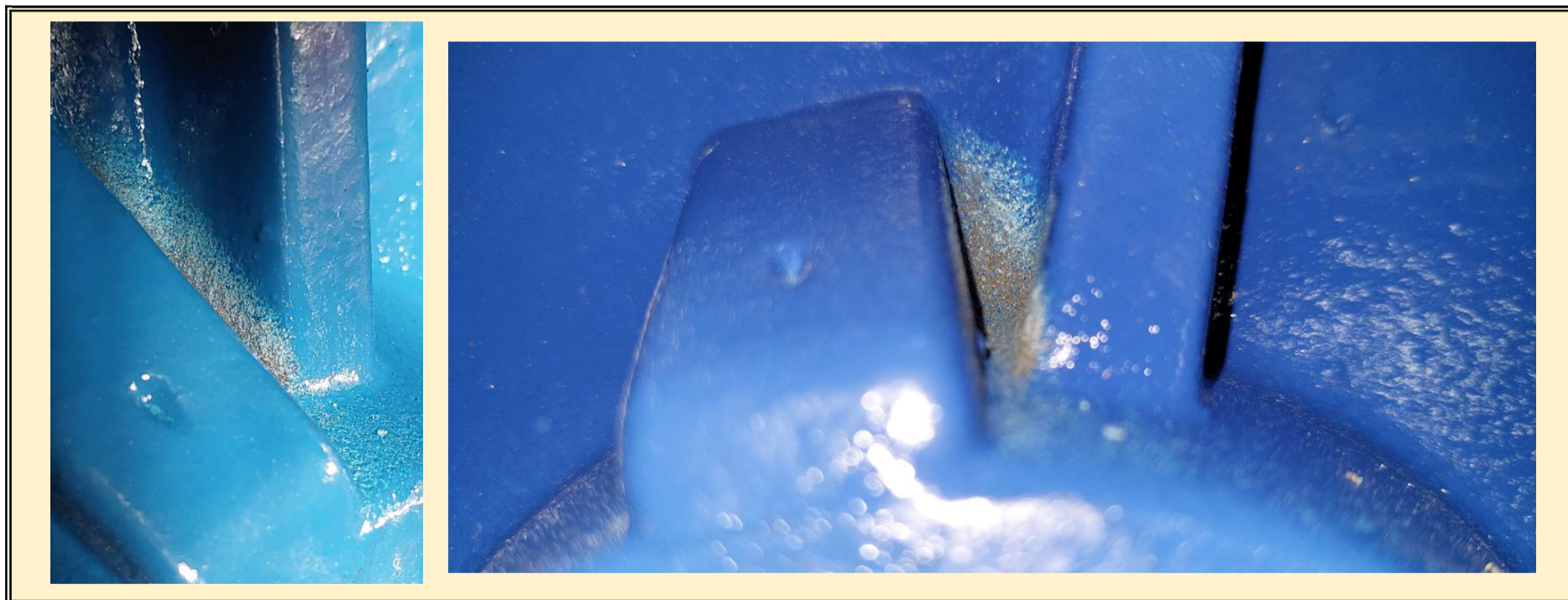
- 9.5 1ª Camada
- 9.6 2ª Camada

Interthane® 990
Interthane® 990


Observações

Um primário de epóxi de dois componentes rico em zinco metálico, que satisfaz os requisitos de composição e comportamento da norma SSPC Paint 20. Interzinc 52 foi concebido para proporcionar excelente resistência à corrosão, tanto em situações de manutenção como em novas construções. Cor exterior com RAL 5010.

Registos



## 10. Avaliação da voluta da bomba - revestimento exterior - espessuras

10.1 Caracol [µm]	1890	100	1700	904	101	353	1140	636	1530	1060	1500	1280	Média	1016	Desvio Padrão	584
10.2 Flange aspiração [µm]	252	403	873	48	902	76,4	1590	795	495	1830	1800	347	Média	784	Desvio Padrão	615
10.3 Flange compressão [µm]	906	130	201	949	901	1750	100	1230	1760	773	403	297	Média	783	Desvio Padrão	560
10.4 Tampa [µm]	747	594	677	1120	993	472	1690	796	247	601	1700	575	Média	851	Desvio Padrão	435
10.5 Pés [µm]	65,1	148	1540	495	999	200	78,3	88,3	246	98,1	1770	197	Média	494	Desvio Padrão	578
10.6 [µm]													Média		Desvio Padrão	

Observações

Foram diagnosticadas pontualmente zonas com déficit grave de espessura de revestimento nas duas flanges da bomba. Os serviços de manutenção da EPAL procederam ao reforço de revestimentos destas zonas dientificadas.

## 11. Produto de enchimento de irregularidades - METALINE SXL

11.1 Marca	Metaline	11.7 Base - Cor	Cinza escuro (RAL 7031)	11.14 Tensão corte	21 N/mm <sup>2</sup>
11.2 Modelo	SXL	11.8 Base - Densidade	-	11.15 Tensão rotura	22 N/mm <sup>2</sup>
11.3 Tipo	Dois componentes (cerâmico)	11.9 Agregador - Cor	-	11.16 "Shore D"	95 (ASTM D2240-68)
11.4 Função	Enchimento	11.10 Agreg. - Densidade	-	11.17 Elasticidade	68 N/mm
11.5 Base	Cerâmico	11.11 Mistura	4:1 em peso e 3:1 em volume	11.18 Módulo Young	-
11.6 Aplicação	Espátula/por injeção	11.12 Mistura-densidade	1,95 g/cm <sup>3</sup> (DIN 53 479)	11.19 Resistência Impacto	36 J/m
		11.13 Mistura-COVs	-	11.20 Dilatação térmica	23,3x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
				11.21 Resistência química	ph 2 - 13

### Certificações

**BSI (British Standards Institution):**  
Compatibilidade com a água potável segundo BS 6920 para Metaline KXL



**USDA (U.S. Department of Agriculture):**  
Aprovação de alimentos para Metaline Série XL






### Observações

Aplicação com espátula ou pincel para reconstrução de superfícies, com solidificação a frio. O material solidifica em 24 horas, sem contração nem dilatação. Isento de corrosão e resistente ao desgaste. SEM SOLVENTES.  
 Tempo de endurecimento (20 °C): Mecanicamente maquinável (2h) ; Carga mecânica total (24h) ; Exposição química total (48h).  
 Espessura mínima - 0,1mm (recomendável > 1mm)  
 Maquinável por: retificação / fresagem / torneamento.

## 12. Produto de revestimento EUROKOTE 468

12.1 Marca	BS COATINGS	12.5 Base - Cor	Massa vermelha/castanha	12.12 Viscosidade	61 poise
12.2 Modelo	EUROKOTE 468 Thixo 500	12.6 Base - Densidade		12.13 Tensão corte	26,2 MPa
12.3 Tipo	Dois componentes (s/ COV)	12.7 Agregador - Cor		12.14 Tensão rotura	31 MPa (20°C)
12.4 Função	Protetor de corrosão	12.8 Agreg. - Densidade	1,18 g/cm <sup>3</sup>	12.15 "Shore D"	80
		12.9 Mistura		12.16 Elasticidade	0,79% (20°C)
		12.10 Mistura-densidade	1,2 g/cm <sup>3</sup>	12.17 Módulo Young	5,178 MPa (20°C)
		12.11 Mistura-COVs	-	12.18 Resistência Impacto	3,03 kJ/m <sup>2</sup>

### Certificações



**EUROKOTE® 468 Thixo 500**

WRAS Approval Number: 2208516 Approved Material

'Eurokote 468 Thixo Brun Rouge'. Factory applied, red/brown coloured, two-part epoxy coating consisting of a resin and hardener. Mix resin and hardener in a weight ratio of 77:23 and apply as per manufacturer's Data Sheet dated '10/05/2019'. Cure for 10 days@20°C. For use with water up to 60°C. This material is only approved for the curing conditions that appear on the approval. If the cure conditions are varied from those specified on the approval then the material is not covered by the scope of the approval.

- **Section:** 5030 Coatings, Paints & Linings (?section=5030)
- **Section Subtitle:** Factory applied pipe & fittings coatings.
- **WRAS Approval Number:** 2208516
- **Expiry date:** 31/08/2027
- **Manufacturer:** BS Coatings View All Listings by this Company (?company=11634)

### Observações

EUROKOTE 468 Thixo 500 está de acordo com a EN 10339.

## 13. Produto de revestimento INTERNACIONAL INTERZINC 52

12.1 Marca		12.5 Base - Cor		12.12 Viscosidade	
12.2 Modelo		12.6 Base - Densidade		12.13 Tensão corte	
12.3 Tipo		12.7 Agregador - Cor		12.14 Tensão rotura	
12.4 Função		12.8 Agreg. - Densidade		12.15 "Shore D"	
		12.9 Mistura		12.16 Elasticidade	
		12.10 Mistura-densidade		12.17 Módulo Young	
		12.11 Mistura-COVs		12.18 Resistência Impacto	

Certificações

--

Observações

--

## 14. Produto de revestimento INTERNACIONAL INTERTHANE 990

<b>12.1</b> Marca	Internacional	<b>12.5</b> Base - Cor		<b>12.12</b> Viscosidade	
<b>12.2</b> Modelo	Interthane® 990	<b>12.6</b> Base - Densidade		<b>12.13</b> Tensão corte	
<b>12.3</b> Tipo		<b>12.7</b> Agregador - Cor		<b>12.14</b> Tensão rotura	
<b>12.4</b> Função		<b>12.8</b> Agreg. - Densidade		<b>12.15</b> "Shore D"	
		<b>12.9</b> Mistura		<b>12.16</b> Elasticidade	
		<b>12.10</b> Mistura-densidade		<b>12.17</b> Módulo Young	
		<b>12.11</b> Mistura-COVs		<b>12.18</b> Resistência Impacto	

Certificações

--

Observações

--

# AVALIAÇÃO DE BOMBA (montagem)

Data:	20/ago/23	Responsável:	Miguel Fernandes		
Período da intervenção	05/mai/23	a	04/ago/23	<b>Duração</b>	<b>91 dias</b>
Marca	RITZ	Modelo	100-400.2F	S/N	2321261 02
Est. Elev.	MADEIRAS	Destino	Alto Dom Luís	Gr.	GRUPO 2
Local	Oficina EPAL Asseiceira	Localidade	Asseiceira-Tomar		

## SUMÁRIO EXECUTIVO

A intervenção de reabilitação desta bomba foi desenvolvida na oficina da EPAL na ETA da Asseiceira com uma prestação de serviços da empresa Machado & Silveira na componente de revestimentos (INSP\_05) e anéis de estanqueidade/desgaste.

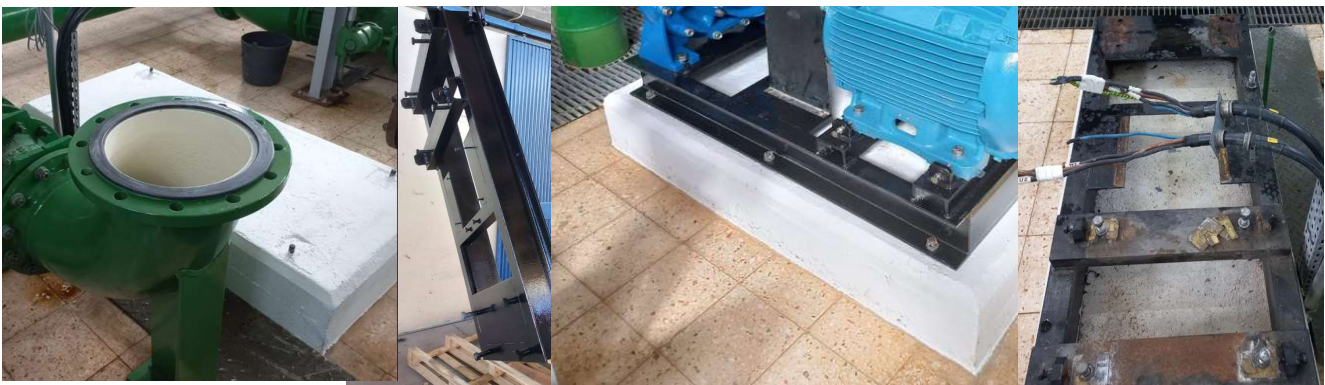
Esta bomba teve um período de intervenção longo uma vez que houve necessidade de retificação dos anéis de desgaste da voluta e também de uma retificação do revestimento na zona da caixa do empanque mecânico.

O impulsor, em bronze, apenas foi equilibrado.

O resultado final do desempenho a bomba é um pouco superior ao de fábrica.



## 1. Maciço e chassis



**Observações** O maciço foi limpo e revestido para proteção.

O chassis foi, adaptado para o novo motor, recuperado com remoção de zonas de oxidação, aplicação de um primário passivador e uma tinta de revestimento e proteção.

Foram também beneficiados os afinadores de posição do motor que facilitam a realização com exatidão do processo de alinhamento.

## 2. Voluta



**Observações** A voluta foi decapada com jato de areia e protegida posteriormente com o produto Metaline SXL para enchimento de zonas danificadas.  
Nas zonas em contacto com a água foi revestida com duas passagens manuais de BS COATINGS Eurokote 468 Thixo 500.  
O revestimento exterior também foi executado com primário Interzinc® 52 e duas demãos de tinta Interthane® 990.

## 3. Impulsor

3.1 Material	Bronze
3.2 Equilibragem	Sim
3.3 Anel de desgaste	Sim
3.4 $D_{\text{anel}}$ [mm]	154
3.5 $D_{\text{exterior impulsor}}$ [mm]	392



**Observações** Registadas algumas porosidades no impulsor que não são consideradas relevantes no seu desempenho.  
O anel de desgaste apresenta concentricidade e diâmetro constante.

## 4. Veio

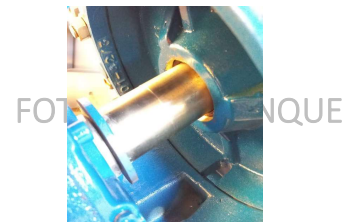
4.1 Material	AISI 420
4.2 Camisas	Empanque



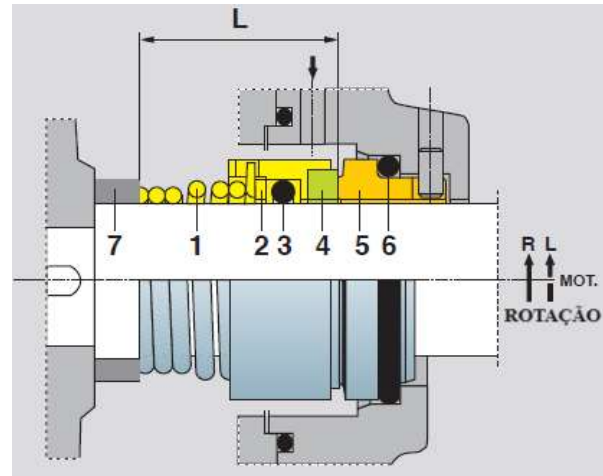
**Observações** Após limpeza, o veio encontrava-se em condições de poder ser reutilizado, por um novo período entre novas aberturas da bomba.

## 5. Empanque

5.1 Tipo	Mecânico
5.2 Marca	ROTEN
5.3 Modelo	UNITEN 2



### Desenho



LEGENDA: 1- Mola 2- Lavador/Descontaminador 3- Cama do veio 4- Selante rotativo 5- Selante estacionário 6- Cama do estacionário 7- Parafusos de regulação

### Observações

Na zona do empanque o veio ( $D=50,1$  mm e  $N_{\text{máx}} = 1500$  rpm) roda a uma velocidade linear de cerca de 3,93 m/s. Esta velocidade é inferior a 15 m/s que é a velocidade máxima que o empanque a Roten admite.

O bom desempenho do empanque depende de:

- Condição dos rolamentos ;
- Deslocamento máximo do veio ;
- Deflexão dinâmica do veio.

## 6. Acoplamento

6.1 Tipo	Flexível
6.2 Marca	Flender
6.3 Modelo	N-EUPEX B180



### Observações

O acoplamento deste grupo apresentava alguma degradação nos elementos flexíveis. Optou-se por trocar o acoplamento por outro também do tipo flexível Flender N-Eupex, cujos elementos flexíveis são de fácil substituição e existem diversos fornecedores no mercado.

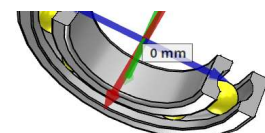
## 7. Caixas e de rolamentos

7.1 Ref. Rolamento ataque	SKF 6211
7.2 Ref. Rolamento oposto	SKF 6211
7.3 Lubrificante	SKF LGMT 2/5

Classificação de carga dinâmica básica	C	46,2 kN	Classe de tolerância	
Classificação de carga estática básica	$C_0$	29 kN	Tolerâncias dimensionais	P6
Límite de carga de fadiga	$P_u$	1,25 kN	Desvio radial	P6
Velocidade de referência		14 000 r/min		
Velocidade-limite		9 000 r/min		
Fator de carga mínima	$k_f$	0,025		
Fator de cálculo	$f_0$	14,3		

### Dimensões

Diâmetro do furo	55 mm
Diâmetro externo	100 mm
Largura	21 mm



**Observações** Os rolamentos rígidos de esferas de uma carreira são particularmente versáteis, possuem baixo atrito e são otimizados para baixo ruído e baixa vibração, o que permite uma alta velocidade de rotação. Suportam cargas radiais e axiais em ambas as direções, são fáceis de montar e requerem menos manutenção do que muitos outros tipos de rolamentos.  
Modelo simples, versátil e robusto ; Baixo atrito ; Capacidade de alta velocidade ;  
Suporta cargas radiais e axiais em ambas as direções ; Requerem pouca manutenção.  
<https://www.skf.com/pt/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6211>

**Fotos**



**Observações**

<b>Data</b>	04/ago/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes				
<b>Estação Elevatória</b>	Madeiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Alto D. Luís	<b>Grupo</b>	2		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 Super Premium	<b>S/N</b>	17279068	<b>P [kW]</b>	45
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	RITZ	<b>Modelo</b>	100-400.2F	<b>S/N</b>	2321261 02	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	187,5
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	50,6

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	250	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	210	mm
DN Tubo aspiração	250	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	179,7	mm
DN Tubo compressão	250	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	810	mm
DN da conduta	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	250	mm
Material conduta	PRFV		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	-120	mm
Extensão da conduta (L)	822	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	250	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1 .	04/08/2023 11:01	0,27	5,00	5,10	1489	212,0	39,50	406	1,200
2 .	04/08/2023 11:11	0,29	5,38	5,00	1491	177,0	35,10	406	1,002
3 .	04/08/2023 11:13	0,30	5,72	4,90	1493	145,0	30,80	406	0,821
4 .	04/08/2023 11:15	0,30	6,00	4,80	1493	114,0	26,40	406	0,645
5 .	04/08/2023 11:17	0,31	6,15	4,80	1494	77,0	21,10	406	0,436
6 .	04/08/2023 11:19	0,31	6,12	4,70	1498	45,0	16,60	406	0,255
7 .	04/08/2023 11:21	0,29	6,02	4,60	1498	2,4	12,80	406	0,013

Tabela 1 - Dados de ensaio

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ Diferença de cotas [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1.	04/08/2023 11:01	2,3	1,2	-0,20	48,25	1,02	0	49,06	28,34
2.	04/08/2023 11:11	1,9	1,0	-0,14	51,92	1,02	0	52,80	25,47
3.	04/08/2023 11:13	1,6	0,8	-0,09	55,28	1,02	0	56,21	22,21
4.	04/08/2023 11:15	1,2	0,6	-0,06	58,14	1,02	0	59,10	18,36
5.	04/08/2023 11:17	0,8	0,4	-0,03	59,57	1,02	0	60,56	12,71
6.	04/08/2023 11:19	0,5	0,3	-0,01	59,26	1,02	0	60,27	7,39
7.	04/08/2023 11:21	0,0	0,0	0,00	58,45	1,02	0	59,47	0,38

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1.	04/08/2023 11:01	39,5	95,14%	37,58	75,42%	28,3	71,76%	0,380	0,186
2.	04/08/2023 11:11	35,1	94,98%	33,35	76,36%	25,5	72,55%	0,376	0,198
3.	04/08/2023 11:13	30,8	94,68%	29,15	76,19%	22,2	72,11%	0,378	0,212
4.	04/08/2023 11:15	26,4	94,37%	24,93	73,65%	18,4	69,55%	0,392	0,232
5.	04/08/2023 11:17	21,1	93,14%	19,65	64,67%	12,7	60,22%	0,452	0,274
6.	04/08/2023 11:19	16,6	91,46%	15,18	48,69%	7,4	44,52%	0,612	0,369
7.	04/08/2023 11:21	12,8	90,10%	11,54	3,30%	0,4	2,98%	9,160	5,447

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

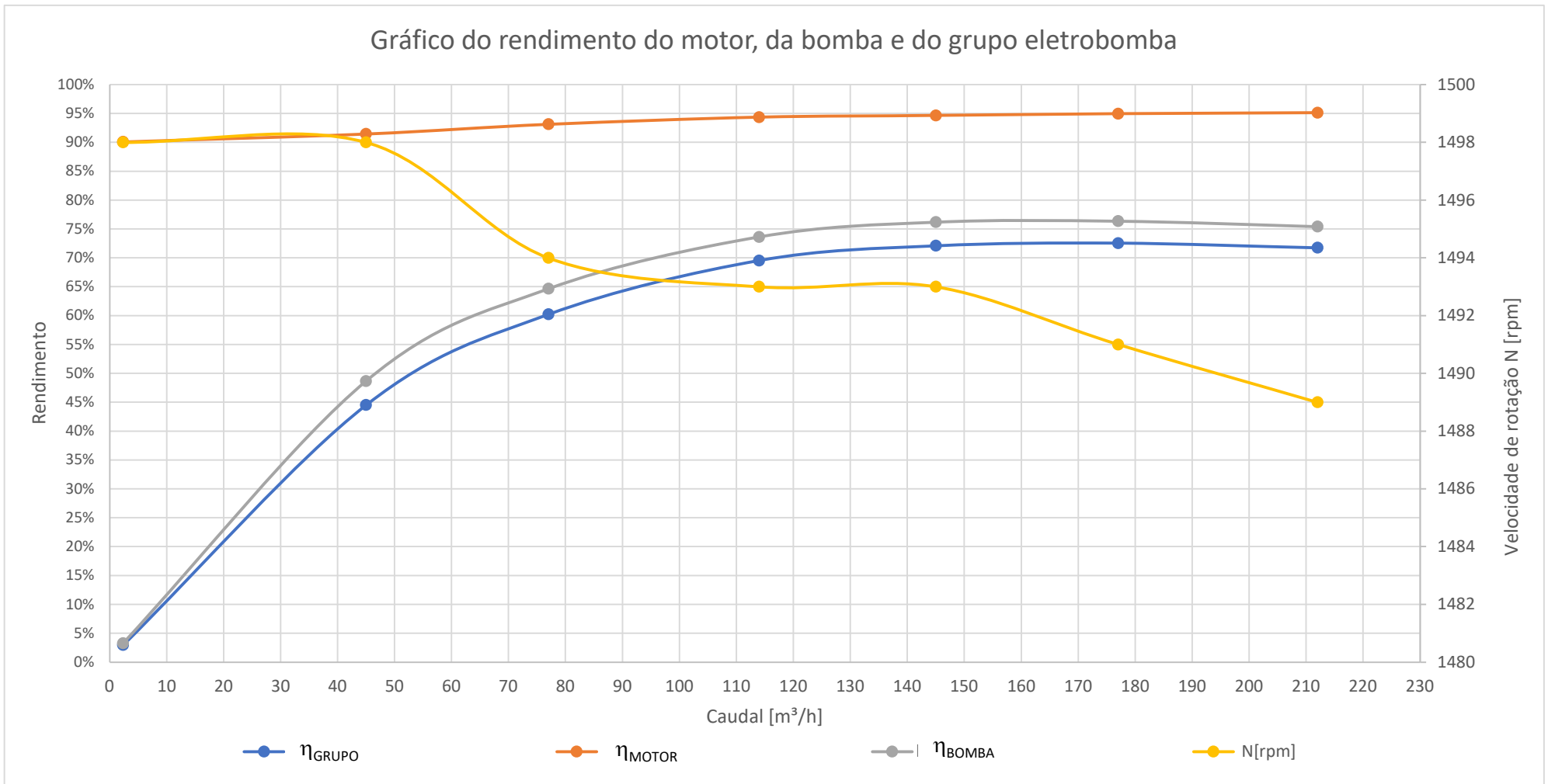
	Data ; Hora	$v_{\text{COLETOR}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]
1.	04/08/2023 11:01	1,2	-0,20	49,27	0,09	49,15
2.	04/08/2023 11:11	1,0	-0,14	48,04	0,09	47,99
3.	04/08/2023 11:13	0,8	-0,09	46,92	0,09	46,92
4.	04/08/2023 11:15	0,6	-0,06	45,90	0,09	45,93
5.	04/08/2023 11:17	0,4	-0,03	45,80	0,09	45,86
6.	04/08/2023 11:19	0,3	-0,01	44,78	0,09	44,86
7.	04/08/2023 11:21	0,0	0,00	43,96	0,09	44,05

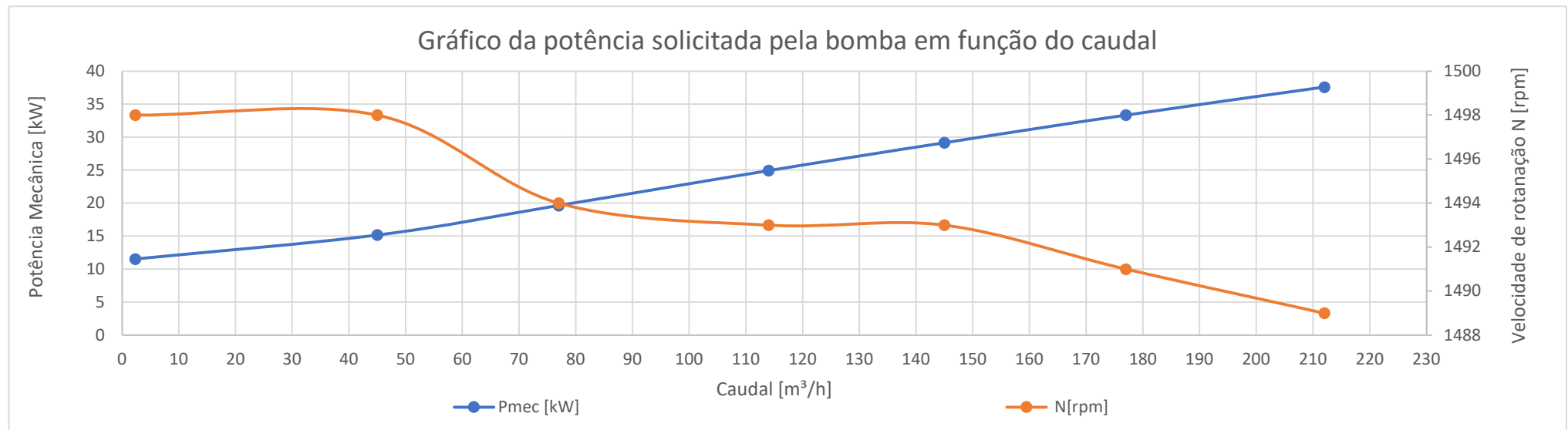
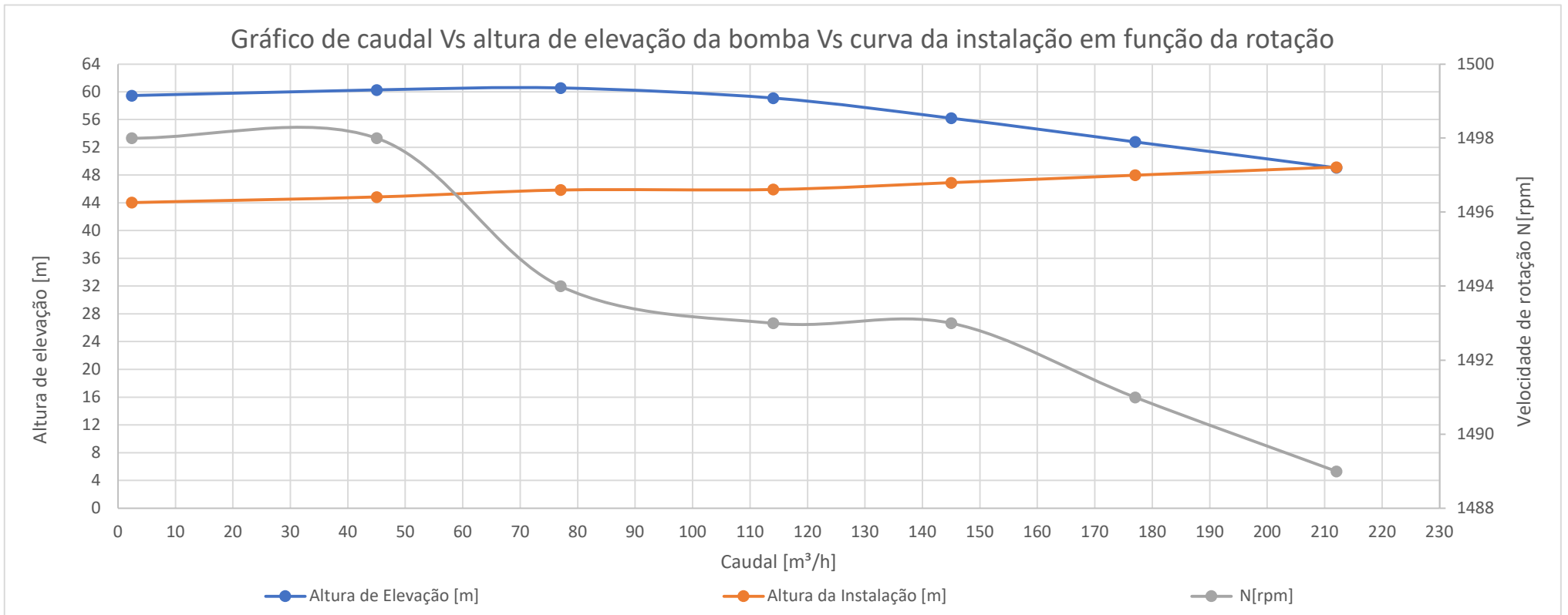
Tabela 4 - Cálculos da instalação

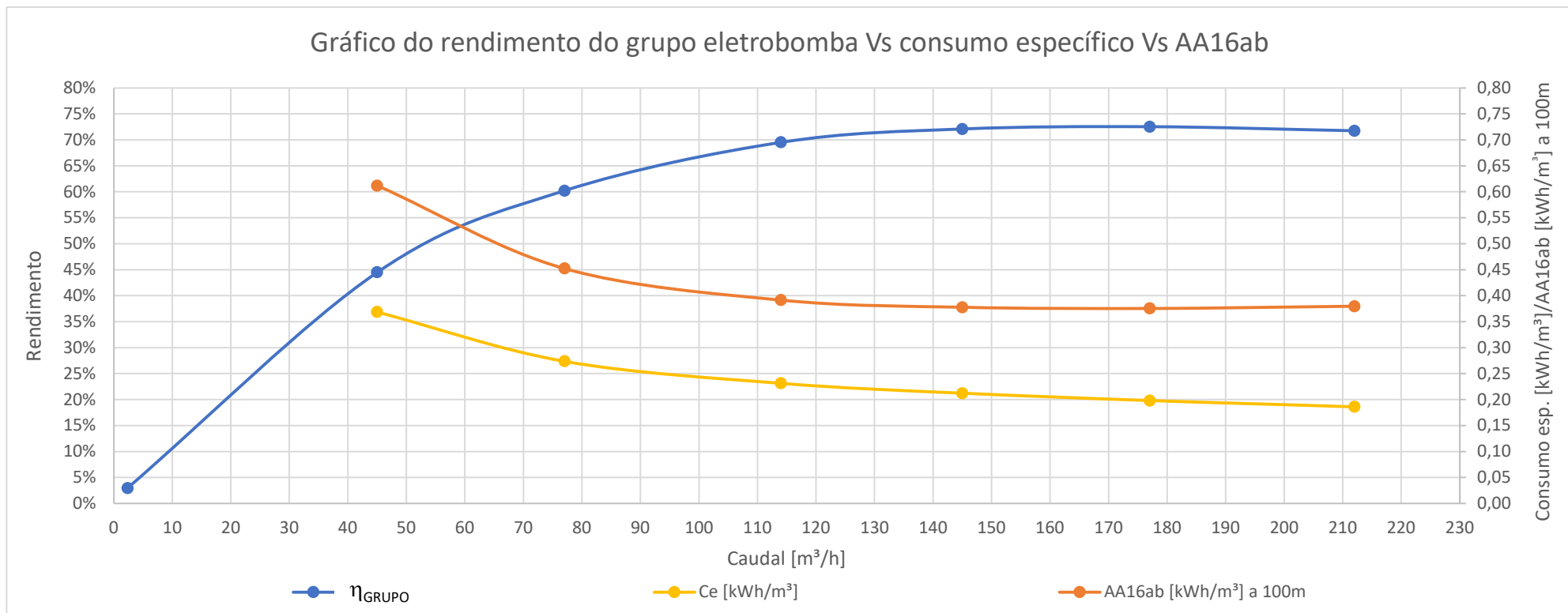
# INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEW	3K67202231467	44721/44722	2022	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	2088 G3 A20 A1	255749		1994	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Intrumentos de suporte ao ensaio







## OBSERVAÇÕES

Tendo esta bomba sido alvo de intervenção profunda, incluindo o revestimento da voluta com Eurokote Thixo 468, foi possível obter resultados superiores aos de fábrica, no que diz respeito aos valores nominais deste equipamento. Num ponto próximo dos valores nominais, verifica-se neste ensaio que para um  $Q_n - 190 \text{ m}^3/\text{h}$  se obtém  $H_n - 51,5\text{m}$  com cerca de 76% de rendimento (numa bomba com cerca de 30 anos).

A substituição do motor EFACEC BF5 por um motor WEG W22 Super premium também permitiu obter, em média, valores rendimento superiores em três pontos percentuais.

No que diz respeito ao indicador ERSAR AA16ab obteve-se um valor de  $0,38 \text{ kWh/m}^3$  a 100m, valor este que é catalogado como um bom desempenho. O consumo específico obtido de  $0,186 \text{ kWh/m}^3$  elevado representa igualmente uma enorme melhoria face aos resultados antes da intervenção.

Muito importante de relevar é também o facto dos pontos obtidos de melhores valores do indicador AA16ab, não coincidirem com o melhor ponto de consumo específico. Este facto traduz-se numa degradação do valor do indicador da ERSAR para se obter efetivamente a melhor estratégia de reduzir o valor da energia dispendido para elevar cada  $\text{m}^3$  de água.

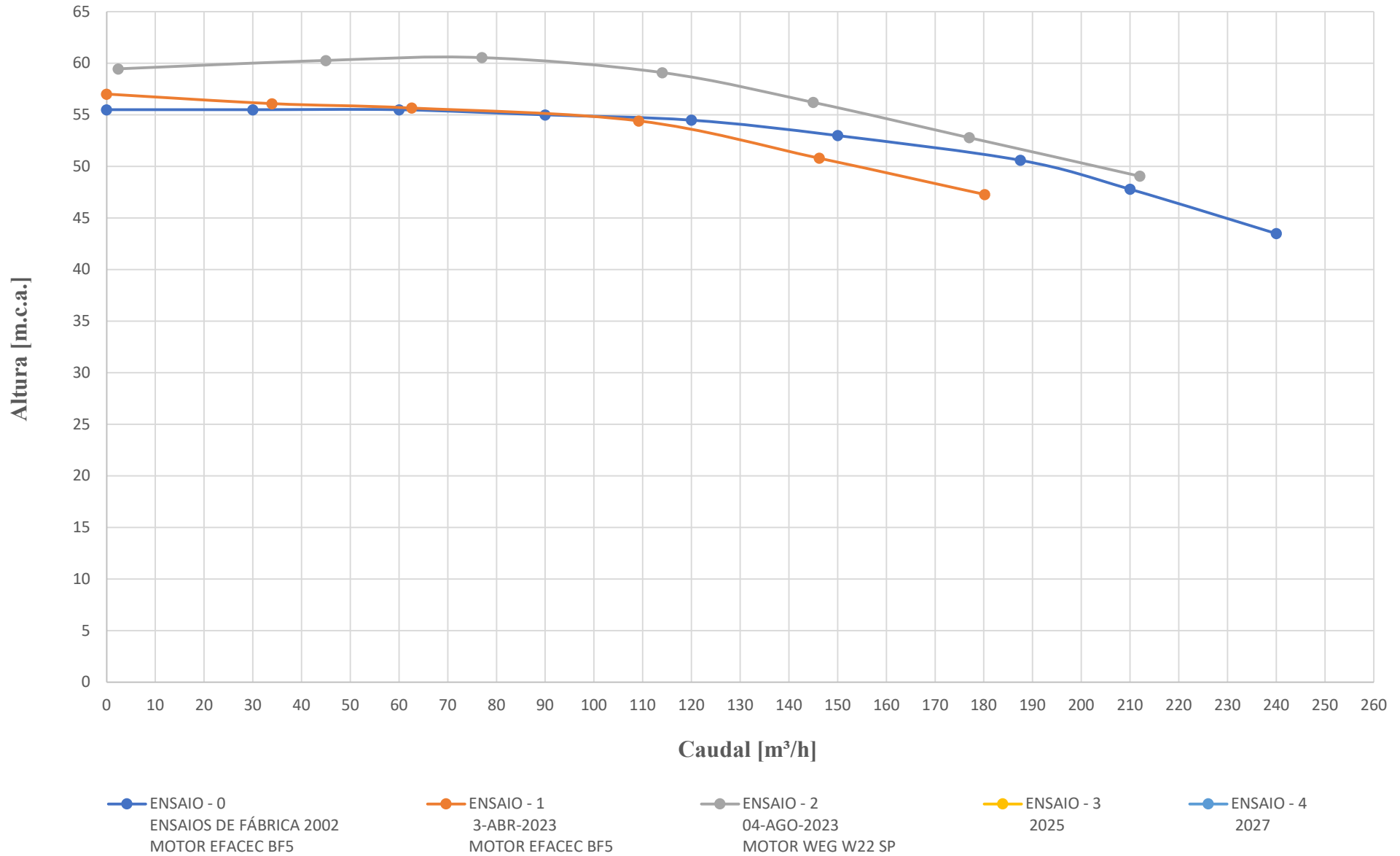


# ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPOS ELETROBOMBA COMPARATIVO HISTÓRICO

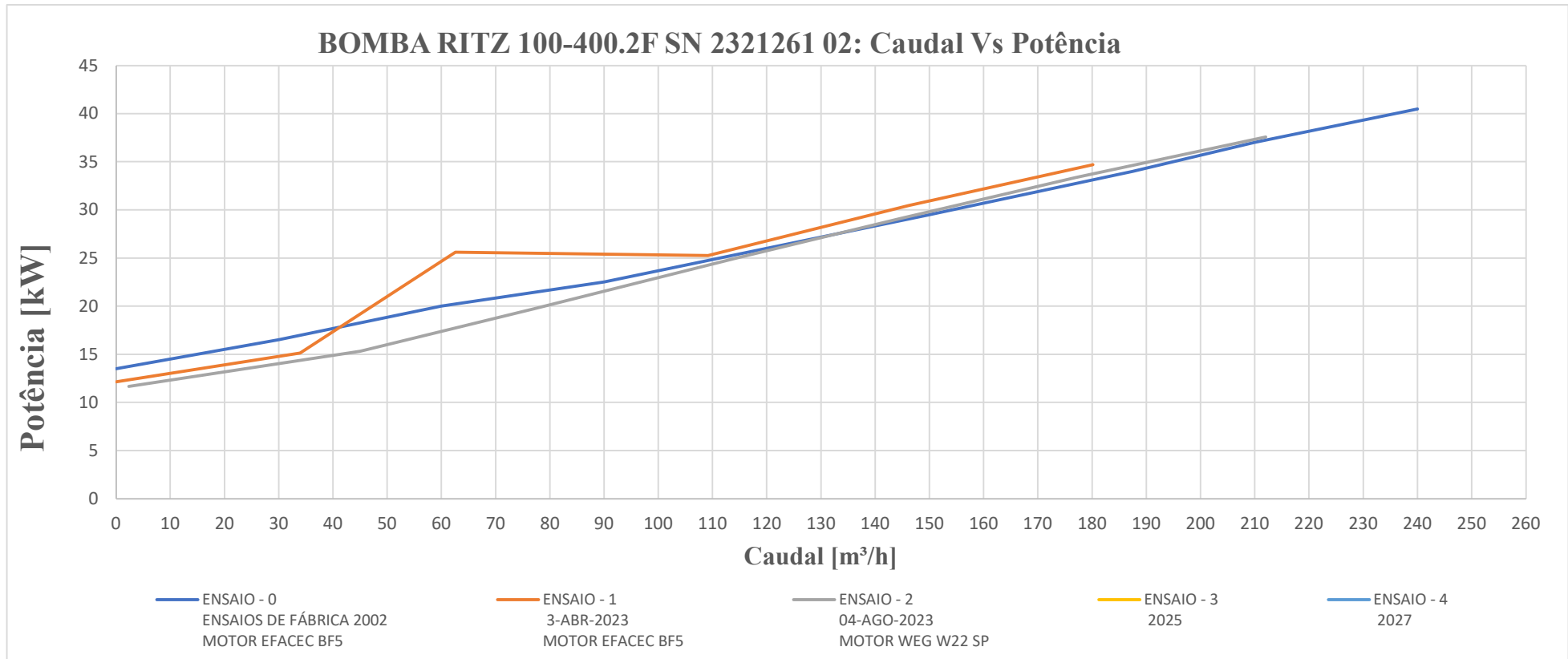
<b>Estação Elevatória</b>	Madeiras	<b>Destino Elev.</b>	Res. Alto D. Luís	<b>Grupo</b>	2			
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 S. Premium	<b>S/N</b>	17279068	<b>P [kW]</b>	45
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	RITZ	<b>Modelo</b>	100-400.2F	<b>S/N</b>	2321261 02	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	187,5
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	50,6

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]
0	55,5	0,00	57,02	212,00	49,06				
30	55,5	33,93	56,09	177,00	52,80				
60	55,5	62,60	55,67	145,00	56,21				
90	55	109,19	54,41	114,00	59,10				
120	54,5	146,22	50,80	77,00	60,56				
150	53	180,15	47,28	45,00	60,27				
187,5	50,6			2,35	59,47				
210	47,8								
240	43,5								

### BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Caudal Vs Altura

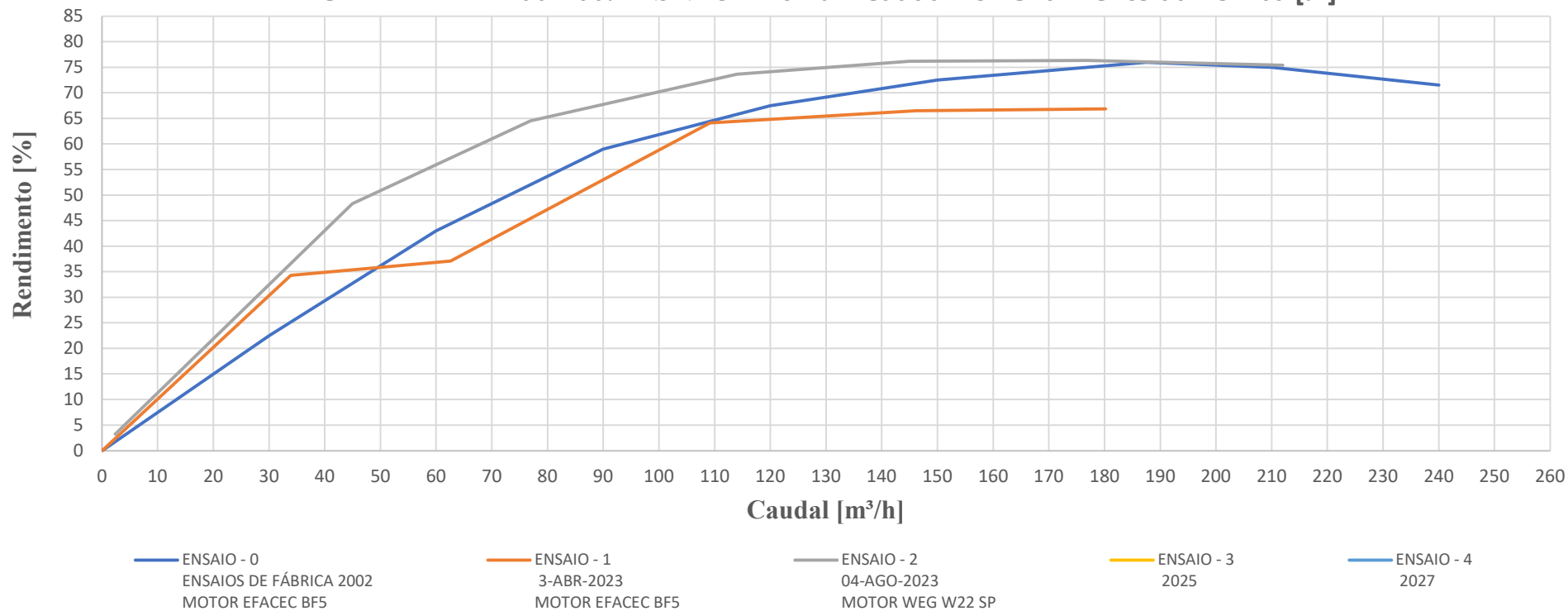


ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]
0	13,5	0,00	12,15	212,00	37,58				
30	16,5	33,93	15,12	177,00	33,35				
60	20	62,60	25,6	145,00	29,15				
90	22,5	109,19	25,25	114,00	24,93				
120	26	146,22	30,45	77,00	19,70				
150	29,5	180,15	34,7	45,00	15,30				
187,5	34			2,35	11,67				
210	37								
240	40,5								



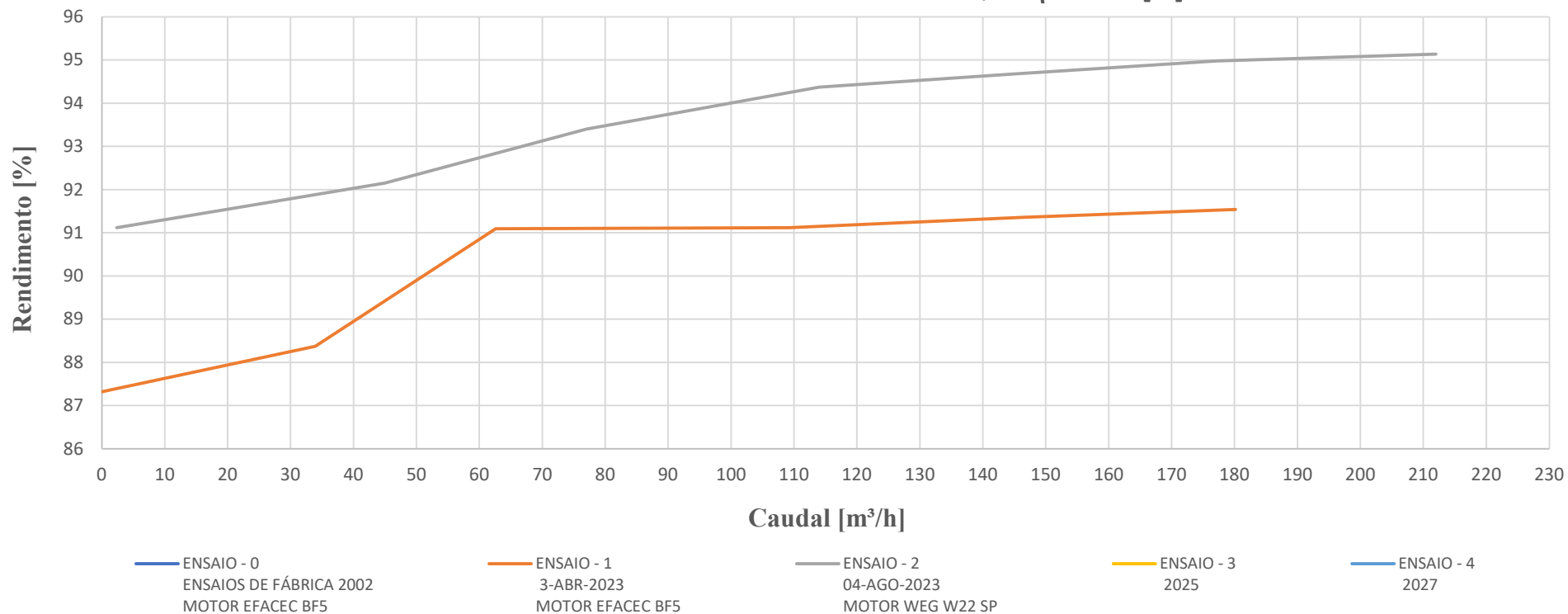
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0	0,00	0,00	212,00	75,42				
30	22,5	33,93	34,30	177,00	76,36				
60	43	62,60	37,10	145,00	76,19				
90	59	109,19	64,12	114,00	73,65				
120	67,5	146,22	66,48	77,00	64,50				
150	72,5	180,15	66,89	45,00	48,31				
187,5	76			2,35	3,26				
210	75								
240	71,5								

**BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Caudal Vs Rendimento da Bomba [%]**



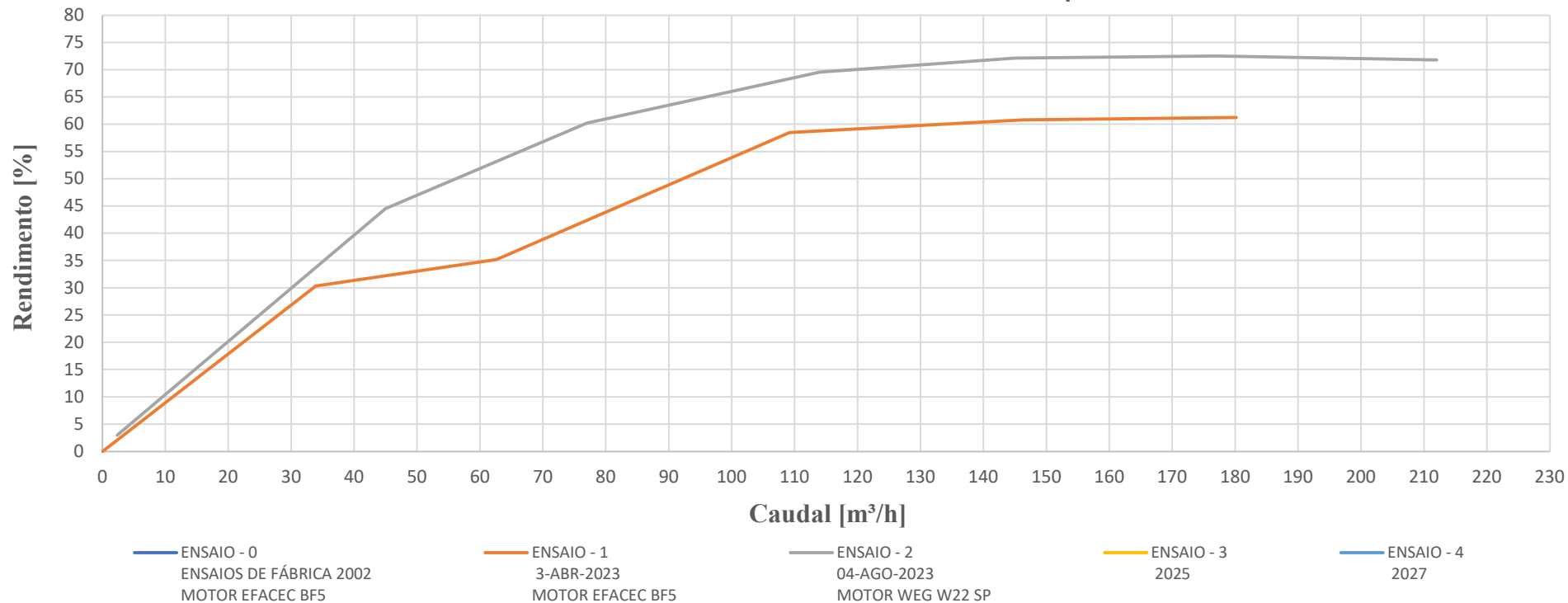
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		0,00	87,32	212,00	95,14				
		33,93	88,37	177,00	94,98				
		62,60	91,09	145,00	94,68				
		109,19	91,12	114,00	94,37				
		146,22	91,36	77,00	93,40				
		180,15	91,54	45,00	92,15				
				2,35	91,12				

**BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Q Vs η Motor [%]**



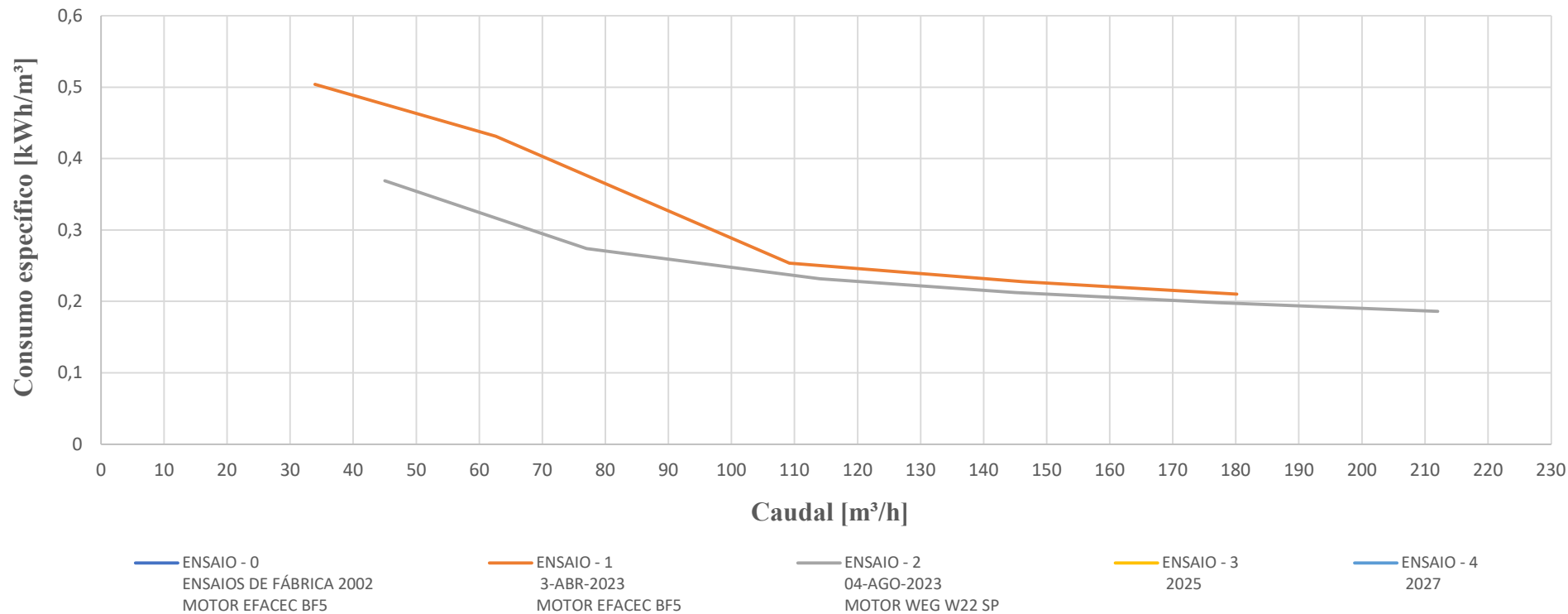
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		0	0,0	212	71,8				
		34	30,3	177	72,6				
		63	35,2	145	72,1				
		109	58,4	114	69,5				
		146	60,8	77	60,2				
		180	61,2	45	44,5				
				2	3,0				

GRUPO COM BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02: Q Vs η Grupo Eletrobomba [%]

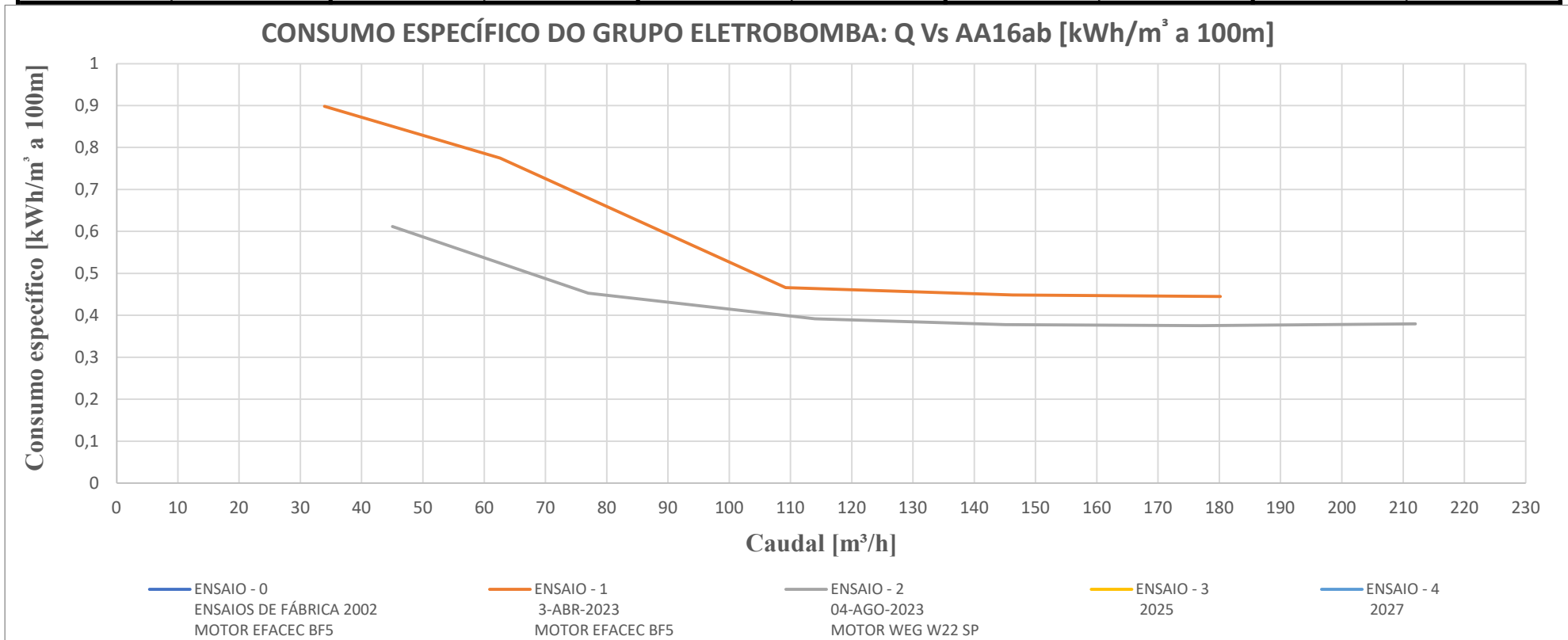


ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	Ce [kW/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		34	0,50	212	0,19				
		63	0,43	177	0,20				
		109	0,25	145	0,21				
		146	0,23	114	0,23				
		180	0,21	77	0,27				
				45	0,37				

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs Consumo específico [kWh/m³]



ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kW/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
		34	0,90	212	0,38				
		63	0,77	177	0,38				
		109	0,47	145	0,38				
		146	0,45	114	0,39				
		180	0,44	77	0,45				
				45	0,61				



## **OBSERVAÇÕES**

Dos ensaios de 3-ABR-2023 para os ensaios de 4-AGO-2023, foi realizada uma intervenção de manutenção na bomba, que inclui o seu revestimento com produto BS Coatings Eurokote Thixo 468. Foi igualmente substituído o motor EFACEC BF5 por um motor WEG W22 Super Premium IE4.

Os resultados obtidos são superiores aos de fábrica e estão em linha com as melhores expectativas para grupos eletrobomba desta gama de potência.

**Data** 04/ago/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Madeiras **Destino Elev.** Res. Alto D. Luís **Grupo** 2

**MOTOR** **Marca** WEG **Modelo** W22 Super Premium **S/N** 17279068 **P [kW]** 45

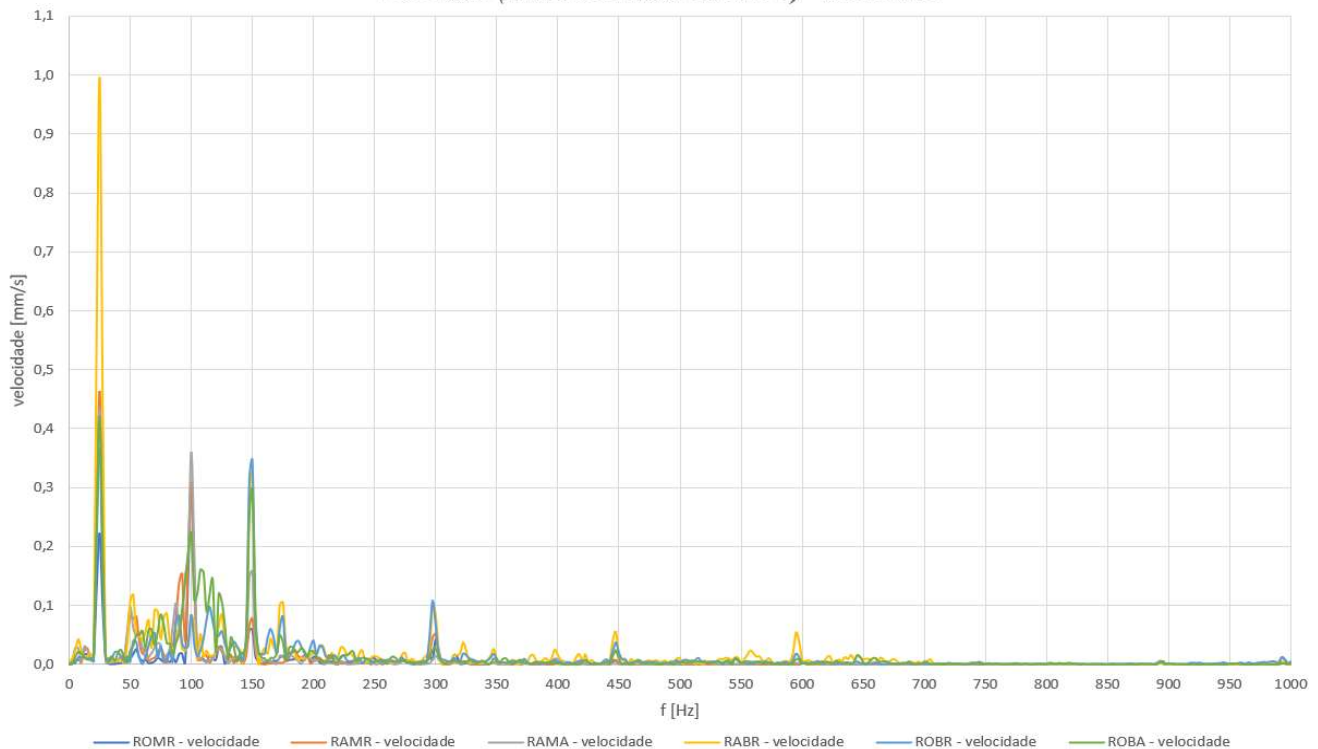
**BOMBA** **Marca** RITZ **Modelo** 100-400.2F **S/N** 2321261 02 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 187,5  
**H<sub>n</sub> [m]** 50,6

## 1. Velocidade de vibração

(ISO 10816-1) [mm/s]

RMS	ROMR	0,425	mm/s	RAMR	0,629	mm/s	RAMA	0,659	mm/s	0-2,3	2,3-4,5	4,5-7,1	≥7,1
		ROBR	0,662	mm/s	RABR	1,123	mm/s	RABA	0,697	mm/s	0-3,5	3,5-7,1	7,1-11

*MOTOR WEG W22 SUPER PREMIUM SN 17279068 + BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02  
Velocidade (EE MADEIRAS GRUPO 2) - 4 AGO 2023*



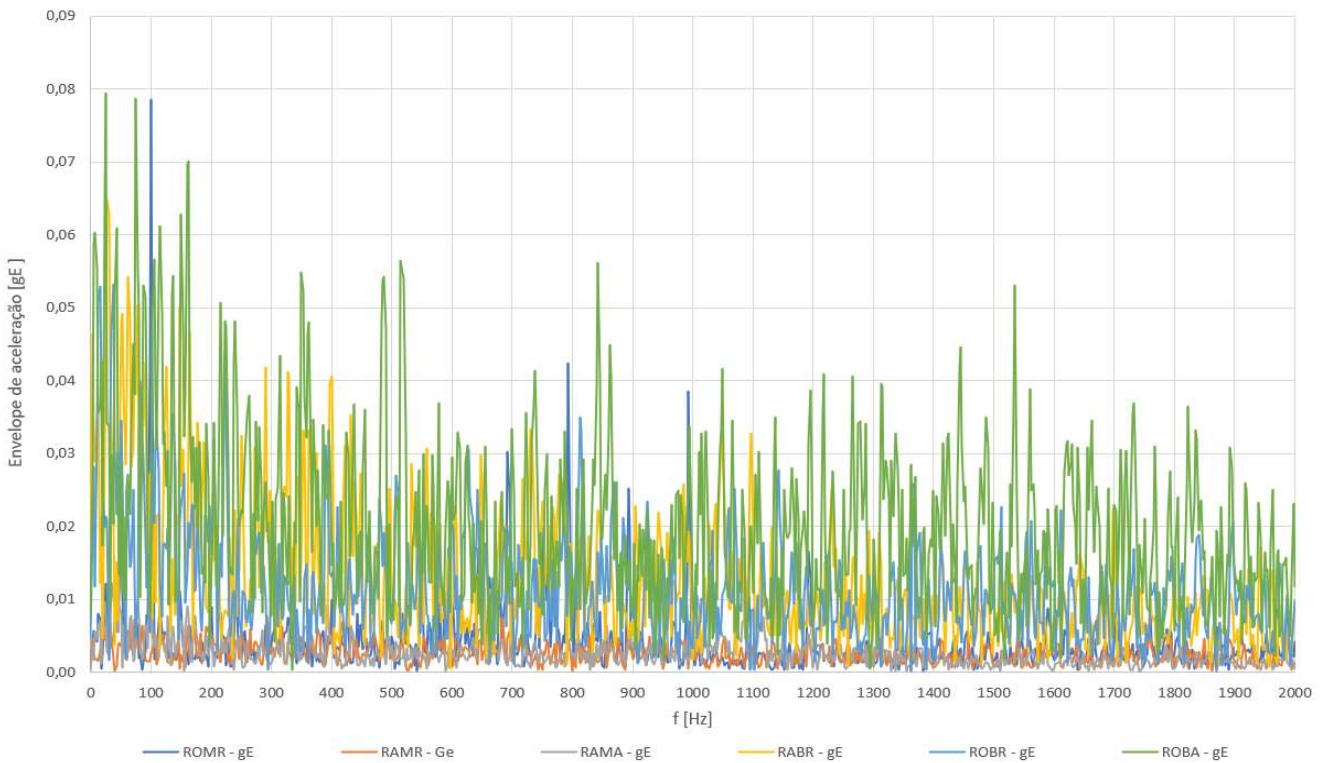
**Siglas:** ROMR - Rolamento oposto motor radial ; RAMR - Rolamento ataque motor radial ; RAMA ; Rolamento ataque motor axial ; RABR - Rolamento ataque bomba radial ; ROBR - Rolamento oposto bomba radial ; ROBA - Rolamento oposto bomba axial.

**Observações** Quer as medidas na bomba, quer as medidas no motor, foram efetuadas nas bases existentes para execução de medidas de vibração. Os valores rms das velocidades de vibração registadas não indiciam a existência qualquer problema.. Portanto, ao nível de desequilíbrios, desalinhamentos ou folgas, não foram registados quaisquer sintomas que requeiram acompanhamento superior ao normal.

## 2. Envelope de aceleração

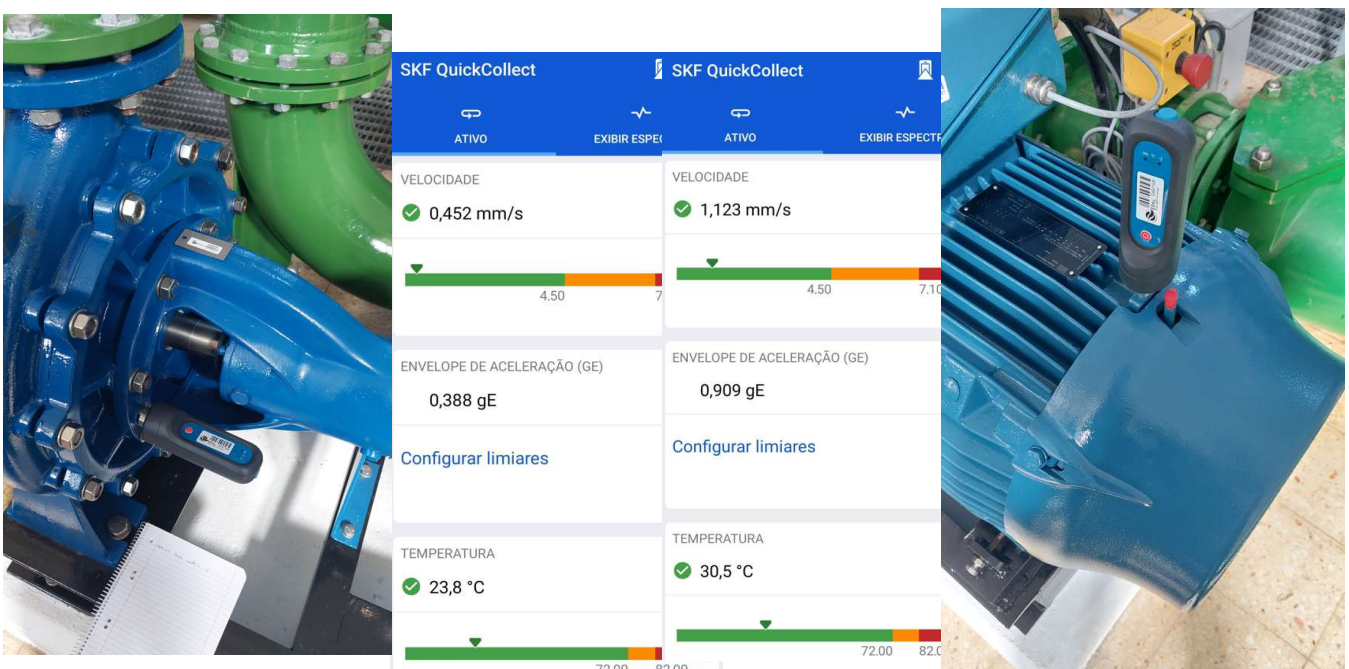
PICO A PICO	ROMR	0,388	gE	RAMR	0,201	gE	RAMA	0,193	gE	(SKF - Envelope) [gE] 1500 rpm		
	ROBR	0,893	gE	RABR	0,909	gE	RABA	1,770	gE	<1	1-4	≥4

**MOTOR WEG W22 SUPER PREMIUM SN 17279068 + BOMBA RITZ 100-400.2F SN 2321261 02**  
 - Envelope de aceleração gE (EE MADEIRAS GRUPO 2) - 4AGO2023



**Observações** Os valores de energia gE associados aos diferentes pontos de medição, revelam que não existem indícios de avarias nos rolamentos, cavitação ou sólidos no fluido. Nas próximas intervenções deve haver especial atenção nas medidas no RABA, para se perceber se o comportamento se mantém (alguma energia libertada mas sem definição em frequências específicas no espectro).

## 3. Fotos do trabalho desenvolvido



Data 04/ago/23 Responsável Miguel Fernandes

Estação Elevatória Madeiras Destino Elev. Res. Alto D. Luís Grupo 2

MOTOR Marca WEG Modelo W22 SUPER PREM. S/N 17279068 P [kW] 45

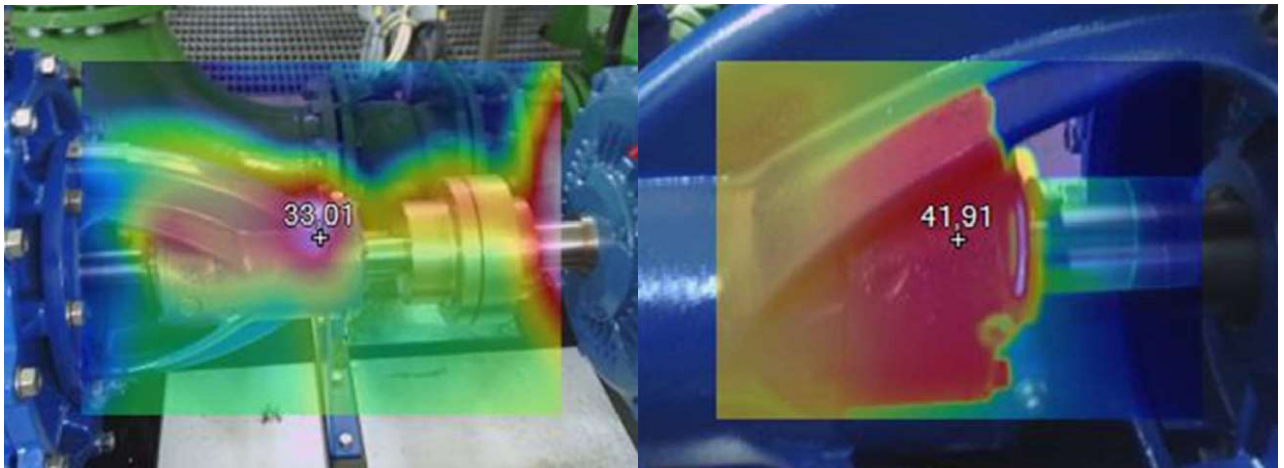
BOMBA Marca RITZ Modelo 100-400.2F S/N 2321261 02  $Q_n$  [m<sup>3</sup>/h] 187,5  
 $H_n$  [m] 50,6

Hora de inspeção 12h00 - 13h00 Estabilização térmica 1h Regime de carga 2/3 da carga nominal

## 1. Bomba - Caixa de rolamentos

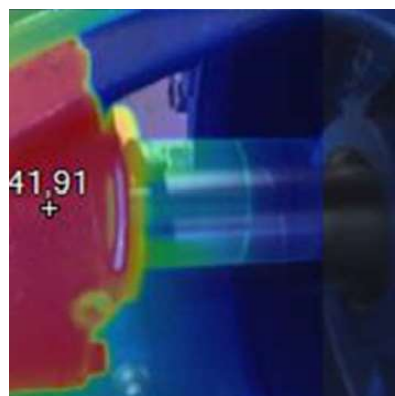
1.1 RA 33 °C SKF 6211  
 1.2 ROA 42 °C SKF 6211

<70°C	70-90°C	>90°C
<70°C	70-90°C	>90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento.

## 2. Bomba - empanque



**Observações** Sem registo de perda de água nem de aquecimento.

### 3. Motor - carcaça e cablagem

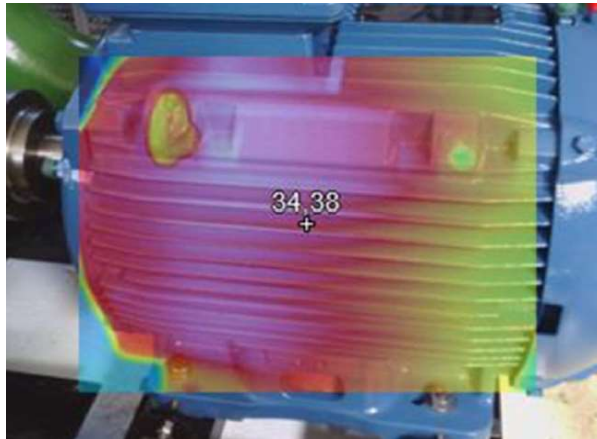
3.1 Cabo de alimentação 35 °C (Isolamento PVC T<sub>máx</sub>< 70°C)

3.2 Carcaça do motor 35 °C

<60°C 60-70°C >70°C

<60°C 60-70°C >70°C

Termistor (PTC) num enrolamento para proteger o motor quando a temperatura atingir os 155 °C



**Observações** Valores normais de temperatura.

### 4. Motor - rolamento ataque e oposto

4.1 RA 45 °C 6314-C3 14000h 27g MOBIL POLYREX EM

4.2 ROA 43 °C 6314-C3 14000h 27g MOBIL POLYREX EM

<70°C 70-90°C >90°C

<70°C 70-90°C >90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento.

*Em anexo a este registo de inspeção está um relatório elaborado no software Fluke connect com alguma informação adicional sobre a avaliação termográfica.*

# **EPAL/ISEL ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE MADEIRAS AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA DO GRUPO 2 DE ELEVAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE ALTO D. LUÍS**

**Sumário:** Em termos de procedimento de ensaio, o grupo eletrobomba entrou em exploração às 11h, tendo-se aguardado 2h pela sua estabilização térmica. Sendo um grupo de 45kW, a trabalhar a cerca de 2/3 da carga, foi possível recolher informação termográfica representativa da sua condição de funcionamento. As zonas avaliadas são as zonas dos rolamentos na bomba e no motor, havendo ainda foco na carcaça do motor, onde existem perdas térmicas resistivas no estator e no rotor.

## Índice

EE MAD G2 M ROL OPOSTO.is2 .....	3
EE MAD G2 M ROL ATQ_28.is2 .....	4
EE MAD G2 B EMPANQUE.is2 .....	5
EE MAD G2 M CARÇAÇA_1.is2 .....	6
EE MAD G2 M+B VEIOS.is2 .....	7
EE MAD G2 B CX ROL_6.is2 .....	8
EE MAD G2 M ROL ATQ_15.is2 .....	9
EE MAD G2 M ROL ATQ_8.is2 .....	10

## EE MAD G2 M ROL OPOSTO.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

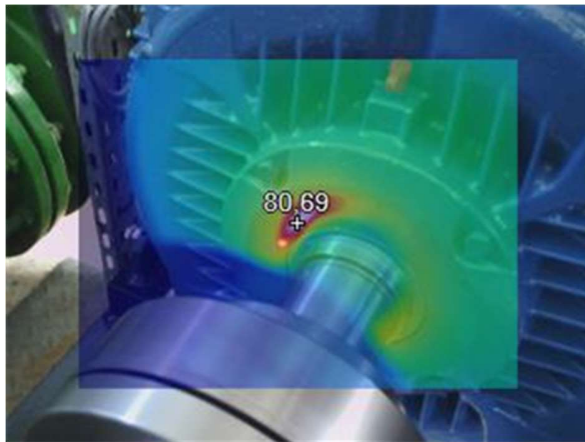
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,71 °C até 33,75 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	23,6 °C	23,6 °C	23,6 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## EE MAD G2 M ROL ATQ\_28.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

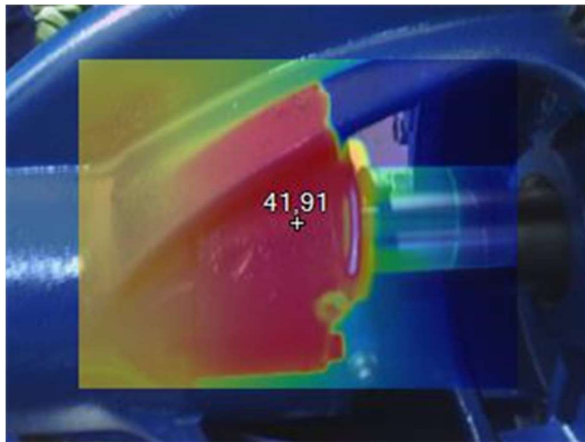
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,66 °C até 81,16 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	80,7 °C	80,7 °C	80,7 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## EE MAD G2 B EMPANQUE.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

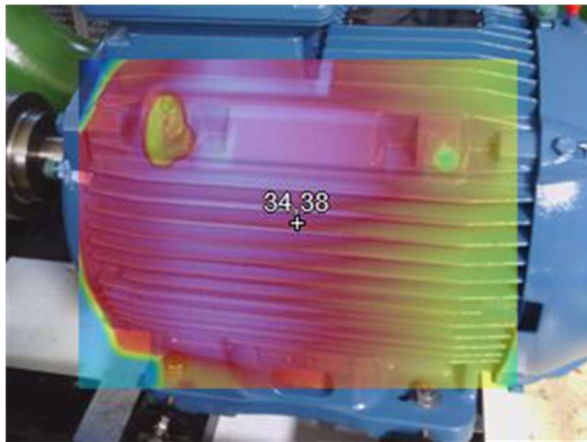
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,29 °C até 47,52 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	41,9 °C	41,9 °C	41,9 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## EE MAD G2 M CARÇAÇA\_1.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

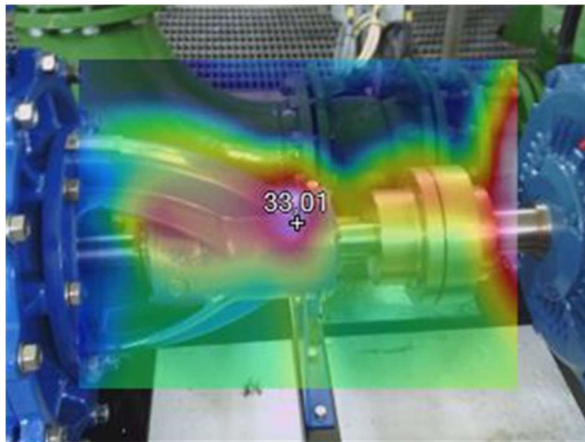
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	18,79 °C até 37,54 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	34,4 °C	34,4 °C	34,4 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## EE MAD G2 M+B VEIOS.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

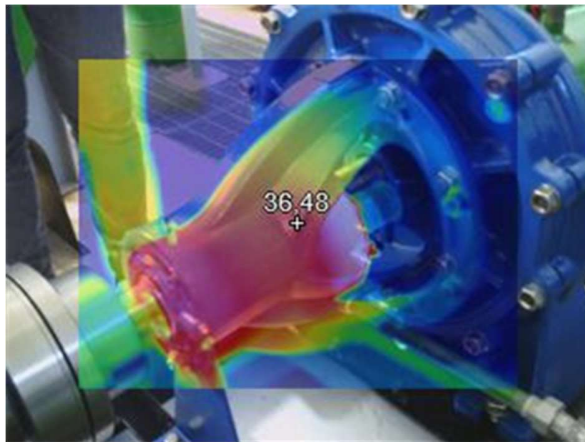
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,22 °C até 34,80 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	33,0 °C	33,0 °C	33,0 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## EE MAD G2 B CX ROL\_6.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	18,79 °C até 41,86 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	36,5 °C	36,5 °C	36,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## EE MAD G2 M ROL ATQ\_15.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

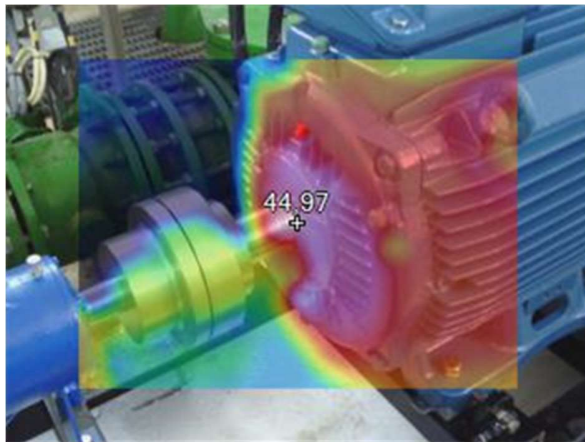
<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	21,60 °C até 45,47 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	43,4 °C	43,4 °C	43,4 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## EE MAD G2 M ROL ATQ\_8.is2

<b>Inspection Date</b>	04/08/2023	<b>Location</b>	
<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,95	<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,95
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,75 °C até 46,49 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	45,0 °C	45,0 °C	45,0 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

**Sumário: Os valores de temperatura registados em EE MAD G2 M ROL ATQ\_28.is2 não são normais requerendo acompanhamento e avaliação.**

**Nas restantes termografias as temperaturas são normais para a tipologia de máquinas em avaliação, regime de carga e temperatura ambiente. Do ponto de vista termográfico, a avaliação da condição de funcionamento deste grupo eletrobomba, valida a sua boa condição para funcionamento.**

## ANEXO H EE Curv. Gr. 4 – Resumo dos trabalhos de inspeção

- i. INSP 01 – AVALIAÇÃO DE SISTEMA ELEVATÓRIO
- ii. INSP 02-1 – AVALIAÇÃO VIBROMÉTRICA
- iii. INSP 02-2 – AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA
- iv. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- v. INSP 03-2 – COMPARATIVO HISTÓRICO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- vi. INSP 04 – AVALIAÇÃO ABERTURA DE BOMBA
- vii. INSP 05 – AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE BOMBAS
- viii. INSP 06 – REGISTO DA MONTAGEM DA BOMBA
- ix. INSP 03-1 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- x. INSP 03-2 – COMPARATIVO HISTÓRICO DE DESEMPENHO DE GRUPO ELETROBOMBA
- xi. INSP 02-1 – AVALIAÇÃO VIBROMÉTRICA
- xii. INSP 02-2 – AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA

Data: qua 10/05/2023

Responsável: Miguel Fernandes

Tipo de Montagem: HORIZONTAL

Fluido: Água Potável (5°C ≤ T ≤ 25°C)

## 1. Caracterização da Instalação

1.1 Sistema	Castelo do Bode		1.9 Altitude [m]	100	1.18 Manobrabilidade de órgãos	100%	
1.2 Subsistema	Médio Tejo Norte		1.10 Alim. Energia Elétrica	BTE	1.19 Ventilação forçada	Inexistente	
1.3 Designação	EE Curvaceiras		1.11 Σ P instalada (F <sub>motriz</sub> ) [kW]	157	1.20 Climatização	Inexistente	
1.4 Coordenadas	N 39°32'13.15"	W 8°27'7.06"	1.12 Nº Grupos Electrobomba	8	1.21 Meio de elevação de cargas	Sim	
	39.536996	-8.451952	1.13 Nº Patamares Altimétricos	3	1.22 Volume [m <sup>3</sup> ]	3150	
1.5 Dimensão da Nave (CxLxH) [m]	30	x 15	x 7	1.14 Σ P disponível [kW]	108,5	1.23 Paredes [m <sup>2</sup> ]	630
1.6 Condutibilidade paredes [W/m <sup>2</sup> °C]	-		1.15 Σ P térmica [kW]	5,4	1.24 Cobertura [m <sup>2</sup> ]	450	
1.7 Condutibilidade cobert. [W/m <sup>2</sup> °C]	-		1.16 Zona climática de Inverno	I2 (RCCTE)			
1.8 Área de vãos envidraçados [m <sup>2</sup> ]	10		1.17 Zona climática de Verão	V3 (RCCTE)			

Observações: Esta estação elevatória é constituída por 4 grupos de elevação para o reservatório de Soudos que funcionam num sistema 3+1, 2 grupos de elevação para o reservatório de Paialvo que funcionam num sistema 1+1 e 2 grupos de elevação para o reservatório da Lamarosa que também funcionam num sistema 1+1. A estação elevatória tem uma implantação parcialmente enterrada que permite uma melhoria significativa da temperatura de trabalho. Atendendo à zona climática onde se insere a instalação, é aconselhável a monitorização de temperatura, como forma de acompanhamento e tomada de decisão na melhoria das condições de humidade e temperatura na instalação.

## 2. Caracterização montagem mecânica

2.1 Válvula seccionamento aspiração	Sim	2.13 Válvula retenção	Sim	2.22 Parafusos		2.29 P1 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	0,821
2.2 Tipo de válvula	Cunha	2.14 Tipo	Deslocamento axial	2.23 Categoria	8.8	2.30 P1 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,183
2.3 DN	300	2.4 PN	10	2.24 Tamanho	-	2.31 P2 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	0,943
2.5 Válvula seccionamento compressão	Sim	2.15 Medidor de caudal	Sim	2.25 Material	Aço	2.32 P2 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,358
2.6 Tipo de válvula	Cunha	2.16 Tipo medidor	Electromagnético	2.26 Revestimento	Galvan.	2.33 P3 - v <sub>Aspiração</sub> [m/s]	1,179
2.7 DN	250	2.17 ΔP do medidor de caudal [mbar]	<250	2.27 Porca	Sim	2.34 P3 - v <sub>Compressão</sub> [m/s]	1,698
2.8 PN	10	2.18 DN compressão [mm]	250	2.28 Ventusa aspiraç.	Não	2.35 Δ(D/d) [mm]	2,00
2.9 Válvula motorizada compressão	Sim	2.19 DN aspiração [mm]	300	2.29 Ventusa comp.	Sim		
2.10 Tipo de válvula	Borboleta	2.20 Cone de redução (Dxd)	300 x 150	2.30 Junta de acoplamento	Borracha com alma de aço		
2.11 DN	250	2.21 Tipo de cone	Excêntrico				

Observações: A montagem mecânica apresenta um desenho compatível com o bom funcionamento da instalação. A válvula de compressão motorizada, que auxilia o arranque do grupo assegurando a progressiva transposição de carga, é de borboleta do tipo "wafer" e está a uma distância reduzida do cone de redução para o troço de medição de caudal. Cones excêntricos na aspiração das bombas, válvulas de isolamento para atividades de manutenção e velocidades inferiores a 2m/s na aspiração e a 3m/s na compressão, são boas práticas que contribuem para evitar a degradação prematura e consequente indisponibilidade do grupo. A ventusa na compressão é igualmente muito importante para ser possível purgar todo o ar entre as válvulas de isolamento, quando é necessário proceder à descarga desse circuito hidráulico. A válvula de retenção é de disco axial, sendo esta opção muito importante no transitório hidráulico por o fecho ser mais rápido do que noutro tipo de válvulas. Deste modo assegura uma melhor proteção dos órgãos a montante da válvula como por exemplo a bomba.

## 3. Caracterização da montagem do grupo (maciço e chassis)

3.1 Material do maciço	Betão armado	3.5 Fixação do chassis	Chumb./Pernos	3.8 Nº de parafusos	-
3.2 Dimensão do maciço (CxLxH) [mm]	1445 x 660 x 285	3.6 Nº pernes	4	3.9 Tamanho dos parafusos	-
3.3 Material do chassis	Aço	3.7 Tamanho pernes	20	3.10 Nº de Porcas	4
3.4 Dimensão do chassis (CxLxH) [m]	1440 x 600 x 110			3.11 Tamanho das porcas	36

Observações: Chassis fixo com chumbadores ao betão armado, sem indícios visuais de degradação (sem fissuração nem oxidação). O chassis está fixo ao maciço não estando preenchido no seu interior.

## 4. Caracterização da bomba

<b>4.1</b> Marca	Marca	<b>4.11</b> N. Série	22843004	<b>4.21</b> Modelo	CJG 125-315	<b>4.32</b> Flange compressão	DIN 2543	<b>4.42</b> Empanque	Mecânico
<b>4.2</b> Corpo	Ferro Fundido	<b>4.12</b> Massa [kg]	-	<b>4.22</b> Flange Aspiração	DIN 2543	<b>4.33</b> DN [mm]	150	<b>4.43</b> P1 [m³/h]	209
<b>4.3</b> Q <sub>nominal</sub> [m³/h]	209	<b>4.13</b> P <sub>1</sub> [m.c.a.]	>11	<b>4.23</b> DN [mm]	125	<b>4.34</b> PN [bar]	16	<b>4.44</b> P2 [m³/h]	240
<b>4.4</b> H <sub>nominal</sub> [m]	29	<b>4.14</b> P <sub>2</sub> [m.c.a.]	>15	<b>4.24</b> PN [bar]	16	<b>4.35</b> Número de furos	8	<b>4.45</b> P3 [m³/h]	300
<b>4.5</b> D <sub>1</sub> [mm]	150	<b>4.15</b> D <sub>1</sub> [mm]	300	<b>4.25</b> Número de furos	8	<b>4.36</b> D <sub>furos</sub> [mm]	23		
<b>4.6</b> D <sub>2</sub> [mm]	125	<b>4.16</b> D <sub>2</sub> [mm]	250	<b>4.26</b> D <sub>furos</sub> [mm]	18	<b>4.37</b> L <sub>centro furação</sub> [mm]	285		
<b>4.7</b> A <sub>1</sub> [mm²]	17671	<b>4.17</b> A <sub>1</sub> [mm²]	70686	<b>4.27</b> L <sub>centro furação</sub> [mm]	210	<b>4.38</b> Rolamento ataque	3309 A/C3		
<b>4.8</b> A <sub>2</sub> [mm²]	12272	<b>4.18</b> A <sub>2</sub> [mm²]	49087	<b>4.28</b> N [rpm]	1500	<b>4.39</b> Tipo	Esferas		
<b>4.9</b> v <sub>1</sub> [m/s]	3,29	<b>4.19</b> v <sub>1</sub> [m/s]	0,82	<b>4.29</b> Impulsor (tipo)	Fechado	<b>4.40</b> Rolamento oposto	2309NU		
<b>4.10</b> v <sub>2</sub> [m/s]	4,73	<b>4.20</b> v <sub>2</sub> [m/s]	1,18	<b>4.30</b> Impulsor (material)	Bronze	<b>4.41</b> Tipo	Rolos		
				<b>4.31</b> Impulsor D [mm]	301				

Observações

O caudal mínimo de funcionamento é 30% do Q<sub>n</sub>, ou seja, 63 m³/h.  
 Corpo (Material): FF - (DIN GG-25) ou (EN GJL 250) ou (AISI A48-40 B)  
 O fabricante recomenda que a 1ª substituição de óleo ocorra durante as primeiras 200 h de funcionamento e as seguintes não deverão ultrapassar as 2000 h.  
 Lubrificante recomendado: Óleo classe ISO VG 46, com IV ≥ 105.

## 5. Caracterização hidráulica

<b>5.1</b> Q <sub>máx</sub> esperado [m³/h]	627	<b>5.9</b> Q <sub>operação P1</sub> [m³/h]	209	<b>5.16</b> Tipo de Aspiração	Positiva
<b>5.2</b> Q <sub>min</sub> esperado [m³/h]	300	<b>5.10</b> H <sub>operação P1</sub> [m]	29	<b>5.17</b> Sistema de Ferra	Não
<b>5.3</b> Q <sub>ótimo</sub> [m³/h]	209	<b>5.11</b> Q <sub>operação P2</sub> [m³/h]	240	<b>5.18</b> Ventusa na aspiração	Não
<b>5.4</b> Q <sub>máx</sub> admissível [m³/h]	-	<b>5.12</b> H <sub>operação P2</sub> [m]	26,9	<b>5.19</b> Ventusa na compressão	Sim
<b>5.5</b> Q <sub>min</sub> admissível [m³/h]	-	<b>5.13</b> Q <sub>operação P3</sub> [m³/h]	300		
<b>5.6</b> H <sub>ótimo</sub> [m]	29	<b>5.14</b> H <sub>operação P3</sub> [m]	21,4		
<b>5.7</b> H <sub>projeto</sub> [m]	-	<b>5.15</b> P <sub>c</sub> máx [bar]	2,89		

Observações

As operações de carga e descarga do circuito hidráulico da bomba são muito importantes, relevando-se a existência de uma ventusa no ponto mais alto, com possibilidade de ser seccionada e intervencionada, que possibilita a entrada de ar ou a retirada de ar em todo o circuito hidráulico.  
 Na aspiração não existem órgãos que possibilitem indevidamente a entrada de ar para o interior da conduta, que seria muito prejudicial para o funcionamento da bomba. Todos os três pontos de funcionamento adequam-se à curva característica da bomba.

## 6. Caracterização da conduta

<b>6.1</b> Material	FFD	<b>6.7</b> Nº descargas	7	<b>6.9</b> Pto. Inicial	N	39.537124°	W	-8.452129°
<b>6.2</b> Extensão L [m]	3929	<b>6.8</b> DN Descargas [mm]	100 (6)/150 (2)	<b>6.10</b> Pto. Final	N	39.550504°	W	-8.488043°
<b>6.3</b> DN [mm]	450	<b>6.8</b> Nº ventusas	6	<b>6.11</b> Pto. Inicial - cota [m]	104	<b>6.13</b> Pto. Final - cota [m]	121	
<b>6.4</b> Volume [m³]	624,9	<b>6.8</b> DN Ventusas [mm]	50	<b>6.3</b> Interligações	Não	<b>6.4</b> Nº Interligações	0	
		<b>6.6</b> Nº válvulas seccionamento	0	<b>6.5</b> Entrada no reservatório	Por cima			

Observações

Esta conduta em 30 anos de serviço tem um histórico muito reduzido de avarias. Após o aumento de capacidade feito ao sistema em 2002, ficou com um caudal máximo de cerca de 630 m³/h, o que nesta conduta de DN450 resulta numa velocidade de 1,1 m/s, sendo assim um regime de exploração adequado.  
 Como não existem válvulas intermédias, a eventual necessidade de lavagem de conduta após rotura, requer o fecho das entradas no reservatório de Soudos e a execução de descargas a jusante do ponto da rotura até que a água clarifique e apresente uma taxa mínima de 0,6 ppm de cloro dissolvido.  
 O número de descargas e sua localização permite o rápido esvaziamento da conduta para execução de um trabalho de manutenção (2h para a situação de cada descarga poder tirar, em média, 40 m³/h). Também o número de ventusas, sua dispersão pela conduta e DN, permitem quer fazer a descarga adequada da conduta, quer o seu carregamento (6h para um carregamento com um caudal médio de 100 m³/h).

## 7. Caracterização do motor

<b>7.1</b> Marca	WEG	<b>7.20</b> s [%]	1,00%	<b>7.21</b> IP	55	<b>7.28</b> Altitude máx [m]	1000
<b>7.2</b> Modelo	W22 SUPER PREMIUM	<b>7.10</b> Norma fabrico	IEC 60034-1	<b>7.22</b> Classe/Regime de serviço	S1	<b>7.29</b> IE	IE4
<b>7.3</b> Nº série	1051123807	<b>7.11</b> Tensão nominal [V]	400	<b>7.23</b> Inércia rotor motor [kgm²]	0,3979	<b>7.30</b> Rendimento 1/4 [%]	-
<b>7.4</b> Alimentação	Trifásico	<b>7.12</b> Frequência [Hz]	50	<b>7.24</b> Rolamento ataque	6312-ZZ-C3	<b>7.31</b> Rendimento 2/4 [%]	93,9
<b>7.5</b> Potência [kW]	30	<b>7.13</b> Corrente nominal [A]	56,3	<b>7.25</b> Rolamento oposto	6212-ZZ-C3	<b>7.32</b> Rendimento 3/4 [%]	94,7
<b>7.6</b> Nº Pólos	4	<b>7.14</b> Fator de potência	0,81	<b>7.26</b> Período de lubrificação [h]	-	<b>7.33</b> Rendimento 4/4 [%]	94,9
<b>7.7</b> Ano Fabrico	2019	<b>7.15</b> Tipo montagem	B3T	<b>7.27</b> Monitorização Temperat.	PTC	<b>7.34</b> T <sub>máx</sub> serviço [°C]	155
<b>7.8</b> Massa [kg]	281	<b>7.16</b> Carcaça	200L	<b>7.28</b> Resistência anti condensação	Não	<b>7.35</b> T <sub>min</sub> serviço [°C]	
<b>7.9</b> I <sub>a</sub> /I <sub>n</sub>	7,4	<b>7.17</b> Classe isolamento	155 (F)	<b>7.29</b> Bases p/ medição vibrações	Sim	<b>7.36</b> Ruído [dB (A)]	63
<b>7.19</b> N [rpm]	1485	<b>7.18</b> ATEX	Não	<b>7.30</b> Tipo de ventilação	IC411	<b>7.37</b> Fabrico	PRT

Observações

Este motor é de alta eficiência apresentando rendimentos próximos de 95% quando em funcionamento num regime igual ou superior a 3/4 de carga. Tratando-se de um motor de 30 kW, considera-se uma excelente opção para a função pretendida.  
 Salienta que o fator de potência a 50% de carga é 0,6, a 75% da carga é 0,73 e a 100% da carga é 0,81. Este facto deve ser tido em conta na compensação de fator de potência da instalação, para que não haja lugar a uma perda económica por pagamento de energia reativa indutiva consumida em excesso (tan φ ≥ 0,3 é penalizada economicamente nos consumidores).  
 Este motor tem cerca de 30 000h de serviço.

## 8. Caracterização do arranque

8.1 Tipo de Arranque(elétrico)	Y-D	8.5 DN válvula [mm]	200
8.2 Modo de Arranque	Válvula fechada	8.6 Inércia rotor motor [kgm <sup>2</sup> ]	0,3979
8.3 T <sub>abertura válvula</sub> [s]	38	8.7 Inércia rotor bomba [kgm <sup>2</sup> ]	-
8.4 Tipo válvula	Borboleta		

Observações: Existe coordenação entre o temporizador do contactor da passagem de estrela para triângulo e a ordem de abertura da válvula de compressão. Após o motor atingir a velocidade de rotação em vazio, a abertura da válvula proporciona uma transposição de carga para o motor. Não há sinais de desgaste evitável por falta de coordenação no arranque do grupo eletrobomba.

## 9. Caracterização das Proteções - Elétricas

9.1 Proteção	Disjuntor + Relé	9.4 Calibre [A]	150	9.7 Proteção térmica	Sim
9.2 Tipo	Indireta	9.5 Regulação [A]	56		
9.3 Relé	Sprecher CET 3	9.6 Capacidade de corte [kA]	100		

Observações: Este motor está protegido por um relé Sprecher & Schuh CET 3 que assegura a proteção nos seguintes tipos de evento: sobrecarga térmica, perda de fase, defeito à terra, rotor bloqueado, incorreta sequência de fases e subcarga. O quadro elétrico da estação elevatória está em adequado estado de conservação, estando as sinalizações e os instrumentos de medida todos a funcionar de modo adequado.

## 10. Caracterização das Proteções - Hidráulicas

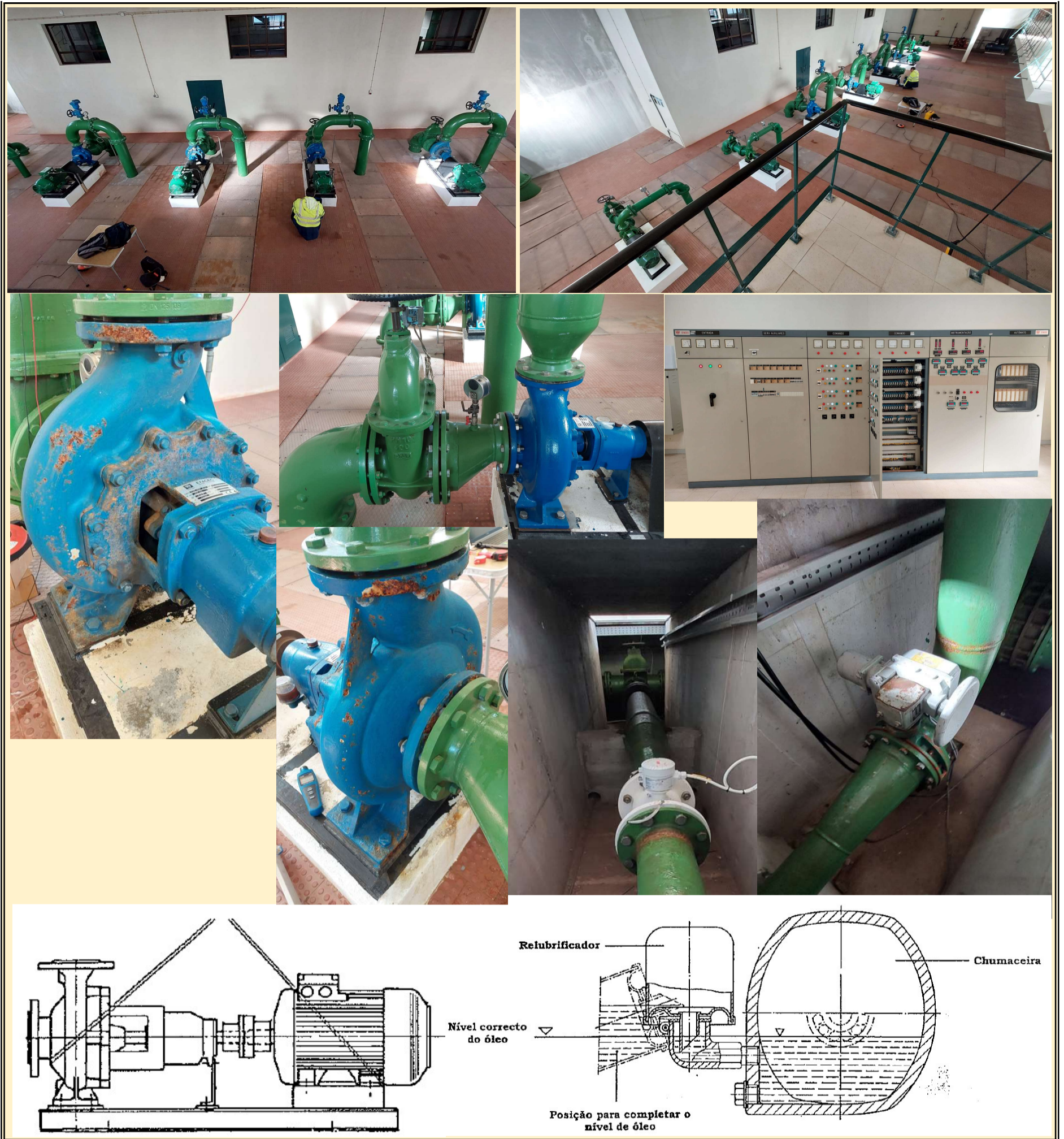
10.1 RAC	Sim	10.3 Sistema automático de enchimento	Sim	10.7 Pressão aspiração - subpressão	Sim, pressostato.
10.2 RAC [m <sup>3</sup> ]	8	10.4 Monitorização de pressão	Sim	10.8 Pressão compressão - subpressão	Sim, pressostato.
		10.5 Monitorização de nível Ar/água	Sim	10.9 Pressão compressão - sobrepressão	Sim, pressostato.
		10.6 Seccionamento	Sim	10.10 Sensor válvula seccionamento aspiração - aberta	Sim
		10.7 Válvula de sobrepressão	Sim	10.11 Sensor válvula seccionamento compressão - aberta	Não
				10.12 Sensor válvula compressão - aberta	Sim

Observações: As proteções de pressão estão implementadas com lógica cablada, a partir do contactos dos pressostatos, que estão inseridas diretamente no circuito de comando dos grupos electrobomba, tornando a proteção muito eficaz. Nesta instalação existe um Reservatório de Ar Comprimido (RAC) que atenua as ondas de pressão na conduta de compressão durante os transitórios hidráulicos mais severos como seja a situação de estarem três grupos eletrobomba em funcionamento e ocorra um corte intempestivo na rede de distribuição de energia elétrica. O volume deste reservatório, assim como a proporção de ar/água no seu interior, foram definidos no âmbito do projeto hidráulico da instalação.

## 11. Caracterização de condições de funcionamento

11.1 Nº máx arranques permitidos [/dia]	-	11.4 Ambiente	-	11.6 Potência ativa	27,8
11.2 Nº médio de arranques [/dia]	2	11.5 Sinalizações	-	11.7 Fator de serviço	0,879
11.3 Nº pontos de funcionamento	3			11.8 Analisador de energia	Não

Observações: A estação elevatória possui uma sala de comando independente, onde estão instalados os quadros elétricos de potência e os quadros elétricos de comando, situação muito benéfica para a fiabilidade de toda a aparelhagem. O grupo eletrobomba tem um acoplamento com espessador para facilitar a intervenção na bomba sem que haja necessidade de mexer na posição do motor. Existem instalados conversores de potência ativa da Camile Bauer, com 30 anos de serviço, sendo recomendável a sua substituição por analisadores de energia. Na entrada da instalação, medindo toda a energia consumida, recomenda-se a instalação de um analisador de qualidade de energia, que permita o registo de perturbações provenientes da rede de distribuição de energia elétrica.



<b>Data</b>	10/mai/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes				
<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Soudos	<b>Grupo</b>	4		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 SUPER PREMIUM	<b>S/N</b>	1051123807	<b>P [kW]</b>	30
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	CJG 125-315	<b>S/N</b>	22843004	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	209
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	29

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	150	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	300	mm
DN Tubo aspiração	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	212,5	mm
DN Tubo compressão	200	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	1270	mm
DN da conduta	450	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	200	mm
Material conduta	FFD		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	1200	mm
Extensão da conduta (L)	3622	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	450	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1.	10/05/2023 10:03	0,49	2,45	2,42	1488	289,0	27,8	404	4,543
2.	10/05/2023 10:06	0,49	2,79	2,36	1489	265,0	26,3	405	4,166
3.	10/05/2023 10:11	0,49	2,82	2,33	1489	255,0	25,7	404	4,008
4.	10/05/2023 10:18	0,49	3,02	2,32	1490	228,0	24,5	405	3,584
5.	10/05/2023 10:20	0,49	3,15	2,30	1490	202,0	23,2	404	3,175
6.	10/05/2023 10:24	0,49	3,35	2,23	1492	153,0	20,2	404	2,405
7.	10/05/2023 10:27	0,50	3,50	2,19	1494	97,0	16,6	404	1,525
8.	10/05/2023 10:29	0,50	3,54	2,18	1495	39,0	13,0	406	0,613
9.	10/05/2023 10:32	0,50	3,59	2,18	1496	0,0	11,5	406	0,000

Tabela 1 - Dados de ensaio

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ Diferença de cotas [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1 .	10/05/2023 10:03	2,3	2,6	0,07	20,01	1,57	0	21,65	17,05
2 .	10/05/2023 10:06	2,1	2,3	0,06	23,44	1,57	0	25,07	18,10
3 .	10/05/2023 10:11	2,0	2,3	0,06	23,80	1,57	0	25,42	17,67
4 .	10/05/2023 10:18	1,8	2,0	0,04	25,78	1,57	0	27,39	17,02
5 .	10/05/2023 10:20	1,6	1,8	0,04	27,11	1,57	0	28,72	15,81
6 .	10/05/2023 10:24	1,2	1,4	0,02	29,13	1,57	0	30,72	12,81
7 .	10/05/2023 10:27	0,8	0,9	0,01	30,68	1,57	1	33,26	8,79
8 .	10/05/2023 10:29	0,3	0,3	0,00	31,08	1,57	2	34,65	3,68
9 .	10/05/2023 10:32	0,0	0,0	0,00	31,58	1,57	3	36,15	0,00

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1 .	10/05/2023 10:03	27,8	94,80%	26,36	64,69%	17,1	61,34%	0,444	0,096
2 .	10/05/2023 10:06	26,3	94,76%	24,93	72,62%	18,1	68,83%	0,396	0,099
3 .	10/05/2023 10:11	25,7	94,75%	24,45	72,25%	17,7	68,74%	0,396	0,101
4 .	10/05/2023 10:18	24,5	94,72%	23,21	73,32%	17,0	69,46%	0,392	0,107
5 .	10/05/2023 10:20	23,2	94,64%	21,96	71,98%	15,8	68,13%	0,400	0,115
6 .	10/05/2023 10:24	20,2	94,33%	19,06	67,20%	12,8	63,41%	0,430	0,132
7 .	10/05/2023 10:27	16,6	93,96%	15,60	56,35%	8,8	52,96%	0,515	0,171
8 .	10/05/2023 10:29	13,0	92,13%	11,98	30,74%	3,7	28,33%	0,962	0,333
9 .	10/05/2023 10:32	11,5	91,26%	10,50	0,00%	0,0	0,00%		

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

	Data ; Hora	v <sub>COLETOR</sub> [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	ΔZ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]	
1 .	10/05/2023 10:03	0,50	-0,25	19,69	1,50	20,94	
2 .	10/05/2023 10:06	0,46	-0,21	19,07	1,50	20,37	
3 .	10/05/2023 10:11	0,45	-0,19	18,77	1,50	20,07	
4 .	10/05/2023 10:18	0,40	-0,15	18,67	1,50	20,01	
5 .	10/05/2023 10:20	0,35	-0,12	18,46	1,50	19,84	
6 .	10/05/2023 10:24	0,27	-0,07	17,75	1,50	19,18	
7 .	10/05/2023 10:27	0,17	-0,03	17,29	1,50	18,76	
8 .	10/05/2023 10:29	0,07	0,00	17,19	1,50	18,68	
9 .	10/05/2023 10:32	0,00	0,00	17,19	1,50	18,69	

Tabela 4 - Cálculos da instalação

## INSTRUMENTAÇÃO

Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEV	3K220000828585	44217	2022	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	1151 GP7 S12	9427468	40176	1991	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Instrumentos de suporte ao ensaio

Gráfico do rendimento do motor, da bomba e do grupo eletrobomba

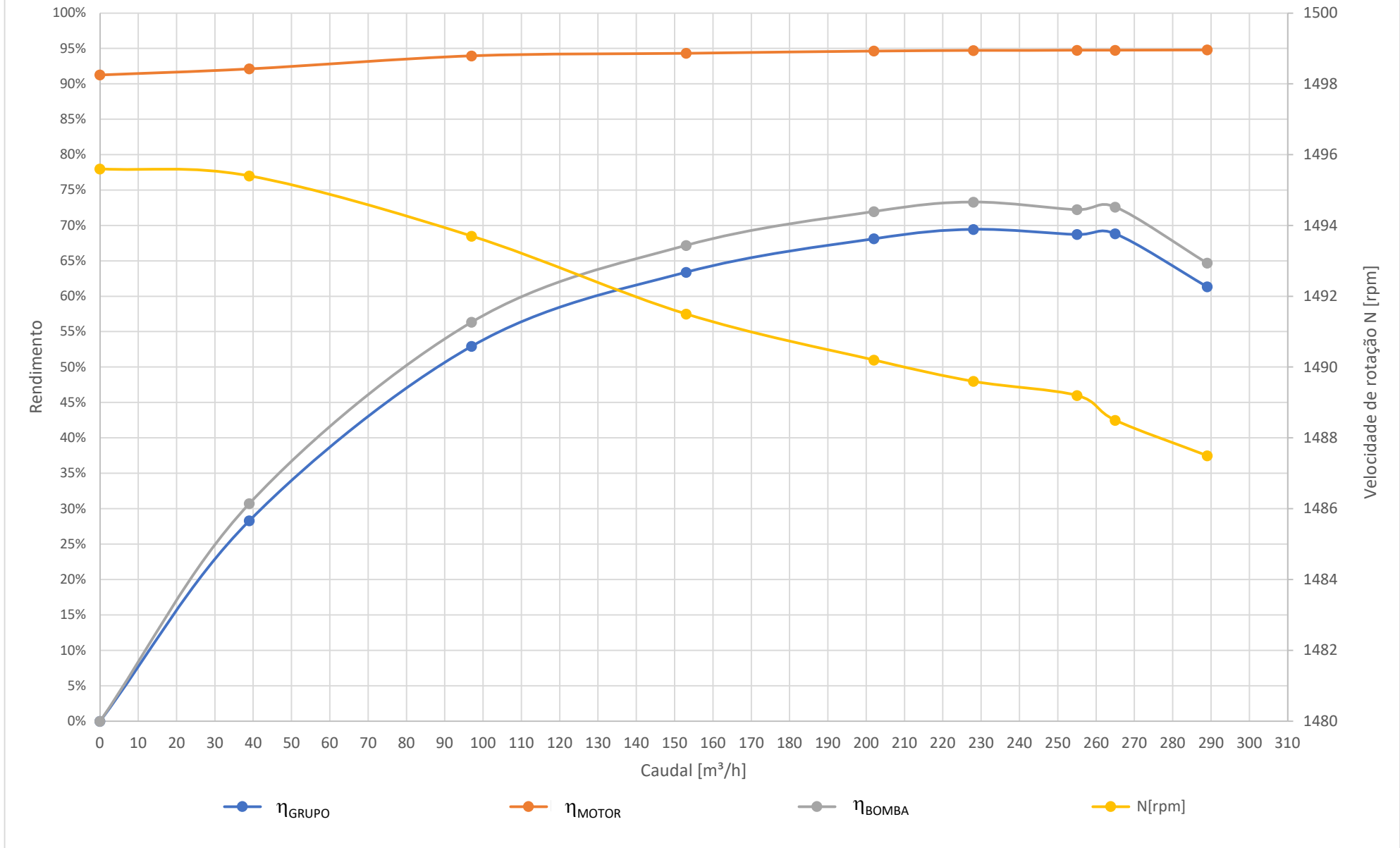


Gráfico de caudal Vs altura de elevação da bomba Vs curva da instalação em função da rotação

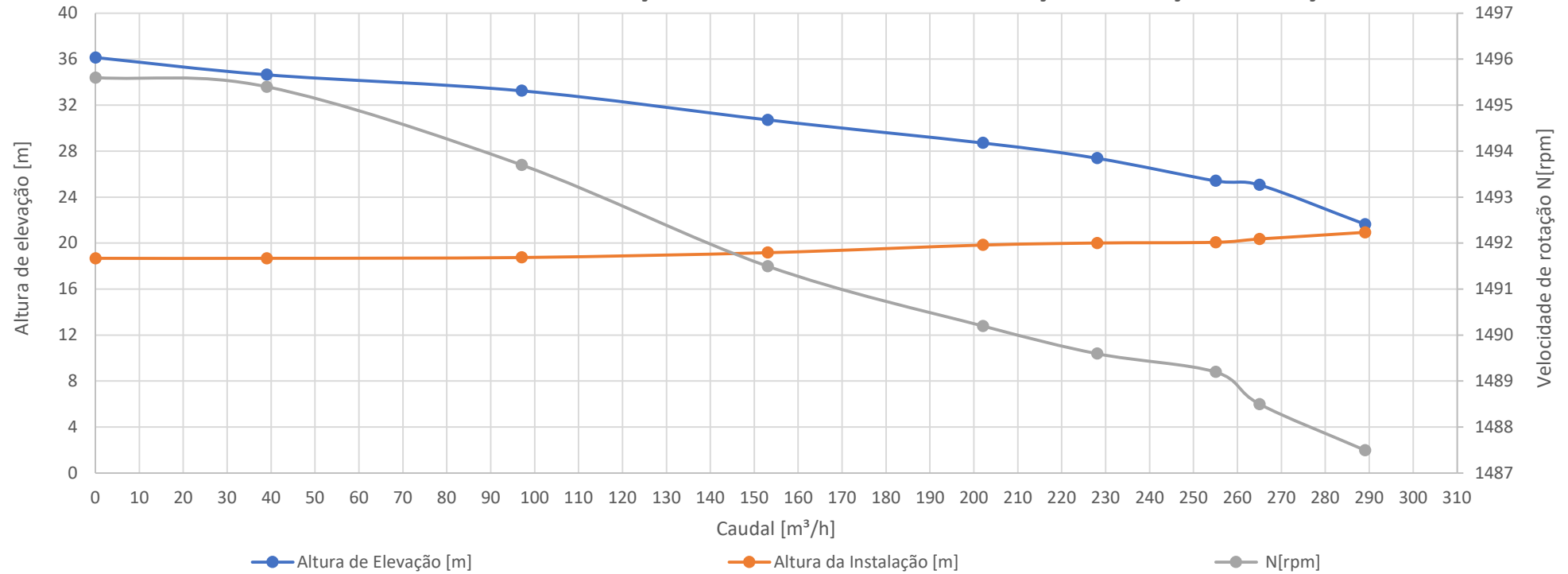


Gráfico da potência solicitada pela bomba em função do caudal

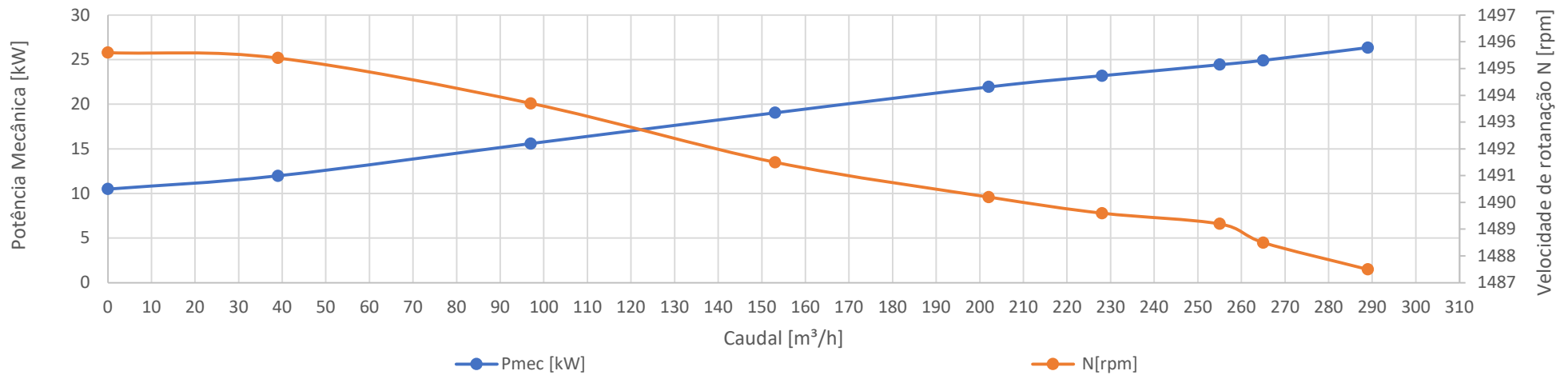
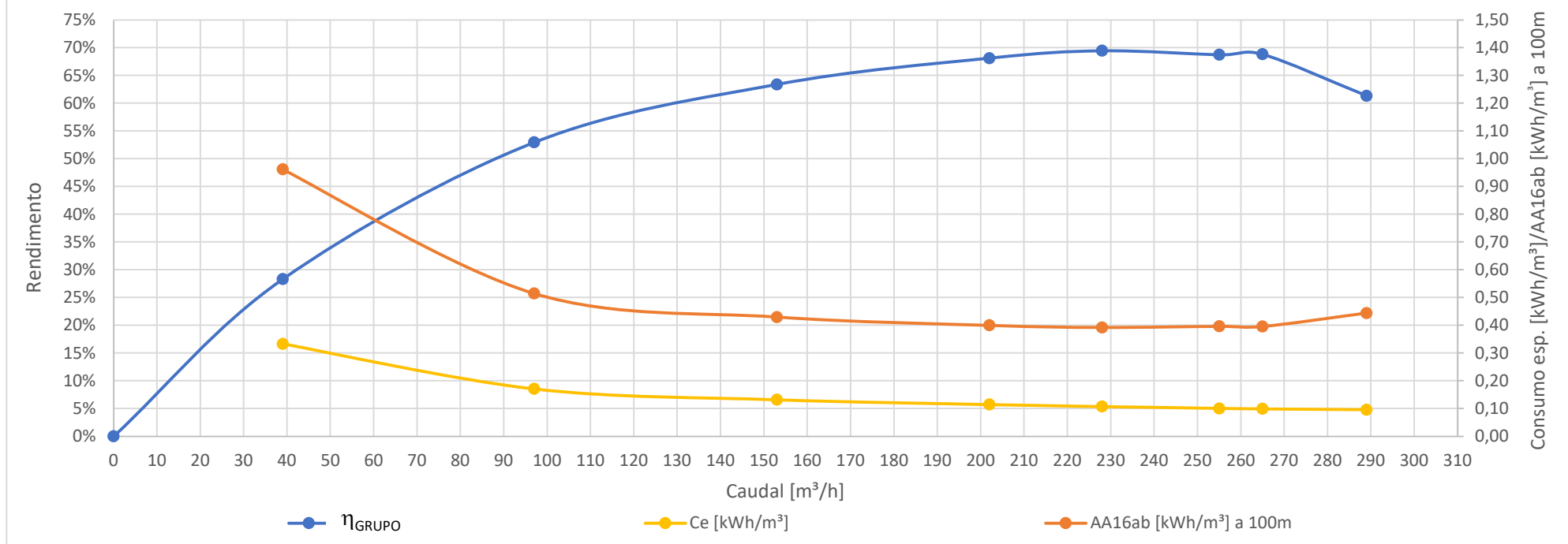


Gráfico do rendimento do grupo eletrobomba Vs consumo específico Vs AA16ab



### OBSERVAÇÕES

Digno de realce o desempenho desta bomba que, embora tenha aproximadamente 33 anos de serviço, regista valores de desempenho notáveis, para as reduzidas intervenções de manutenção que tem sido alvo.

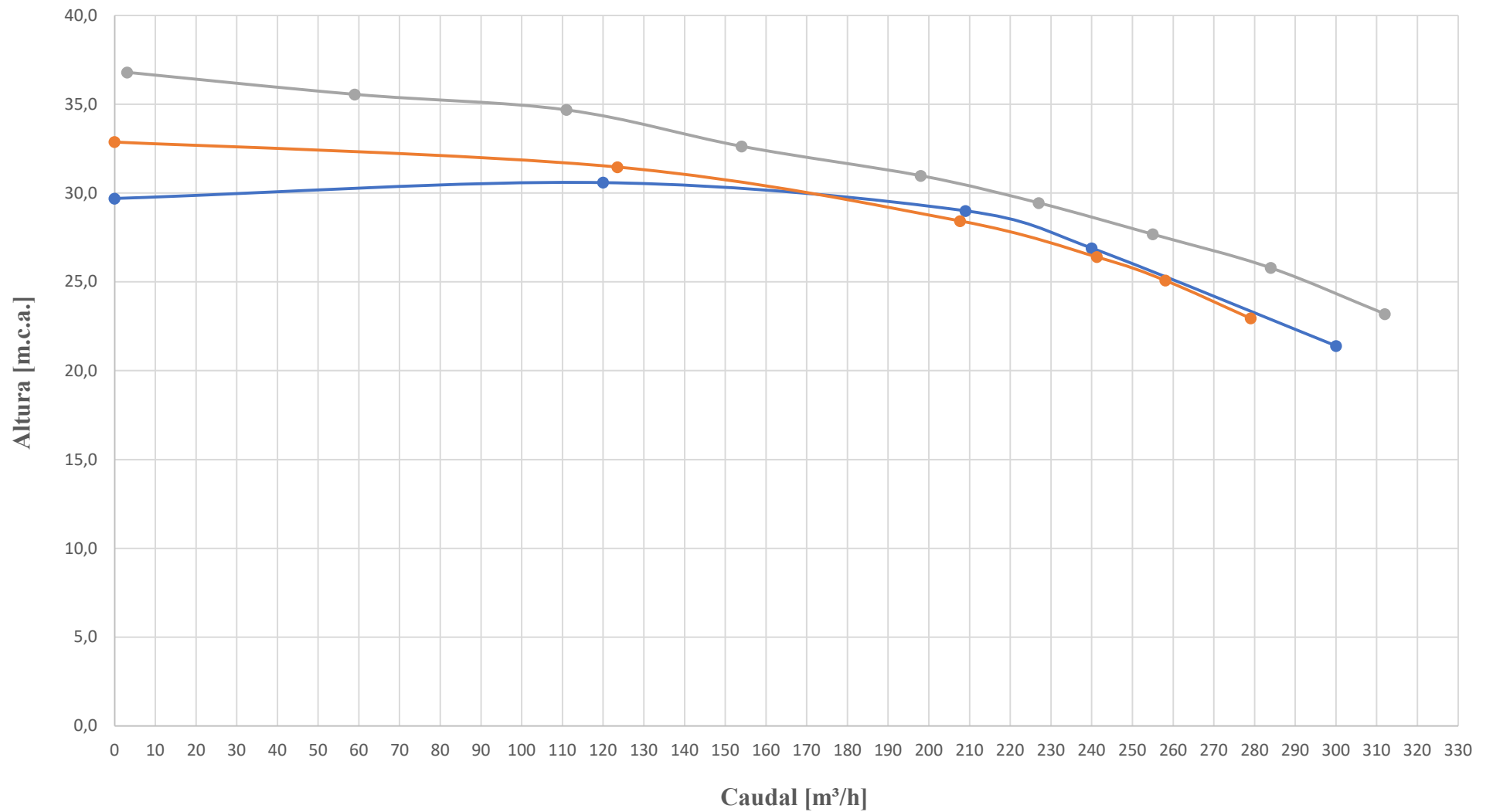


# ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPOS ELETROBOMBA COMPARATIVO HISTÓRICO

<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras	Destino Elev.	Res. Soudos	Grupo	2			
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 S. Premium	<b>S/N</b>	1051123805	<b>P [kW]</b>	30
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	CJG 125-315	<b>S/N</b>	22843002	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	209
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	29

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]
0	29,7	279	23,0	312	23,2				
120	30,6	258	25,1	284	25,8				
209	29,0	241	26,4	255	27,7				
240	26,9	208	28,4	227	29,5				
300	21,4	123	31,5	198	31,0				
		0	32,9	154	32,6				
				111	34,7				
				59	35,6				
				3	36,8				

### BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Caudal Vs Altura



● ENSAIO - 0  
ENSAIOS DE FÁBRICA 2002  
MOTOR EFACEC BF5

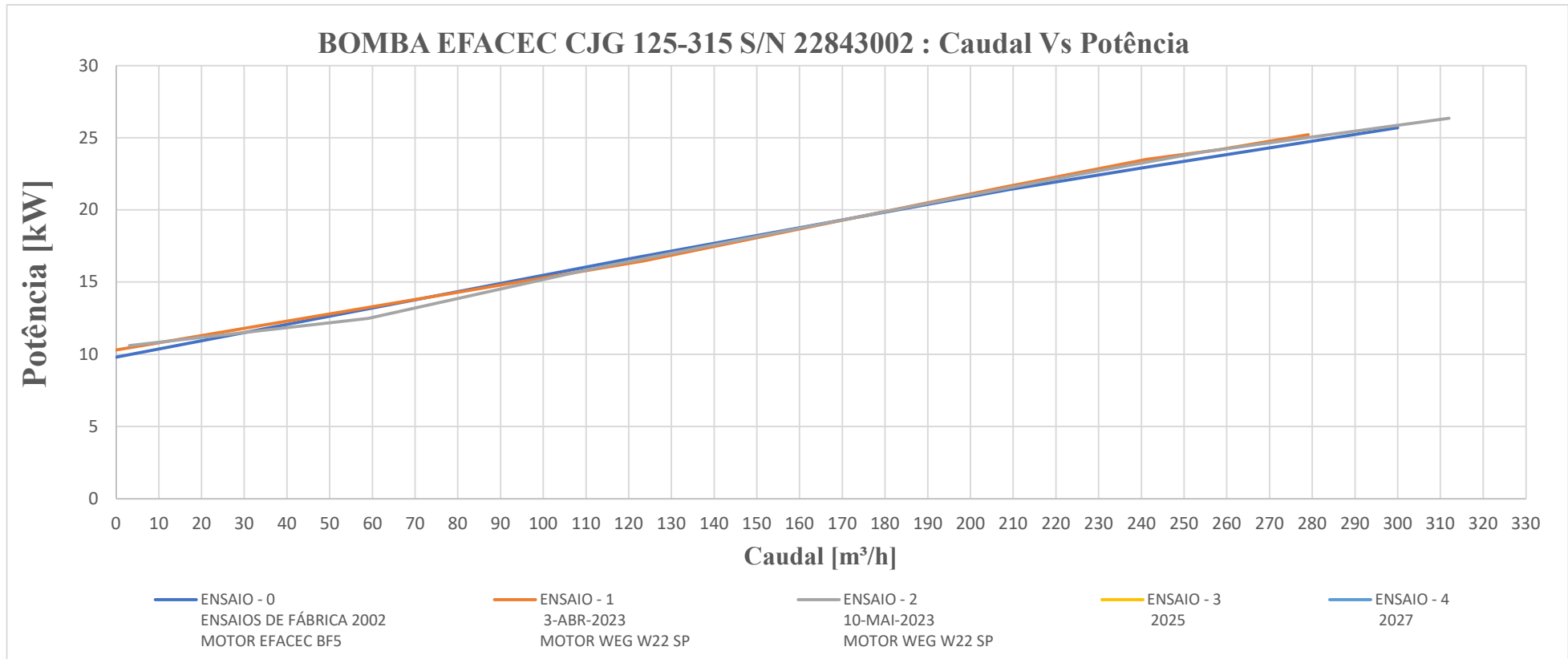
● ENSAIO - 1  
3-ABR-2023  
MOTOR WEG W22 SP

● ENSAIO - 2  
10-MAI-2023  
MOTOR WEG W22 SP

● ENSAIO - 3  
2025

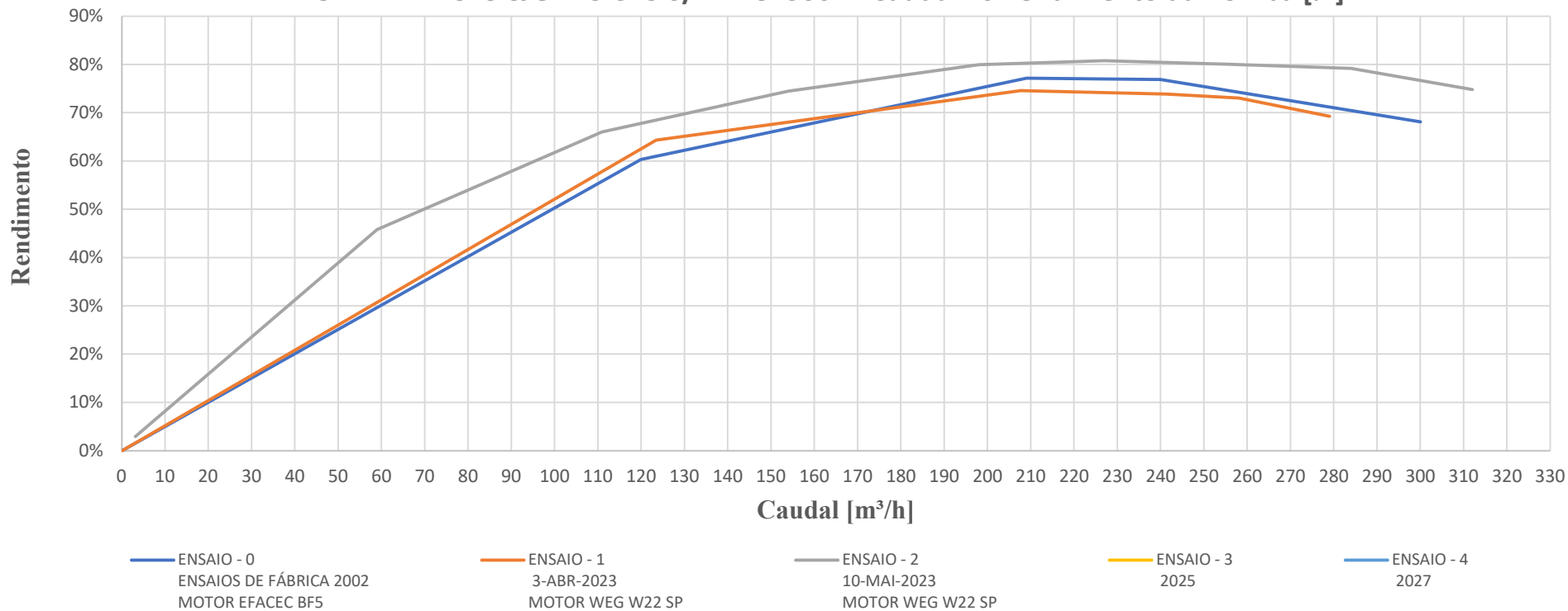
● ENSAIO - 4  
2027

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]
0	9,8	279	25,2	312	26,4				
120	16,6	258	24,2	284	25,2				
209	21,4	241	23,5	255	24,0				
240	22,9	208	21,6	227	22,6				
300	25,7	123	16,5	198	20,9				
		0	10,3	154	18,4				
				111	15,9				
				59	12,5				
				3	10,6				



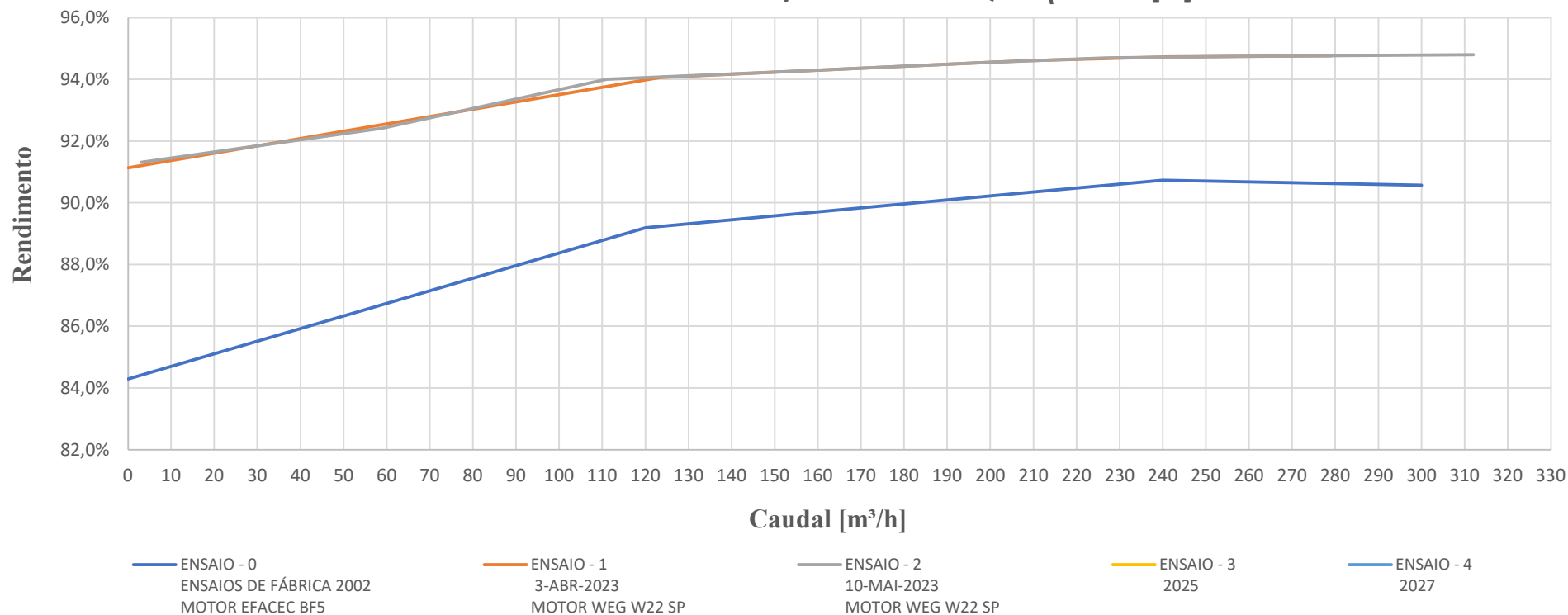
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	279	69,2%	312	74,8%				
120	60,3%	258	73,0%	284	79,2%				
209	77,2%	241	73,9%	255	80,1%				
240	76,9%	208	74,6%	227	80,8%				
300	68,1%	123	64,3%	198	79,9%				
		0	0,0%	154	74,5%				
				111	66,0%				
				59	45,8%				
				3	2,9%				

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Caudal Vs Rendimento da Bomba [%]



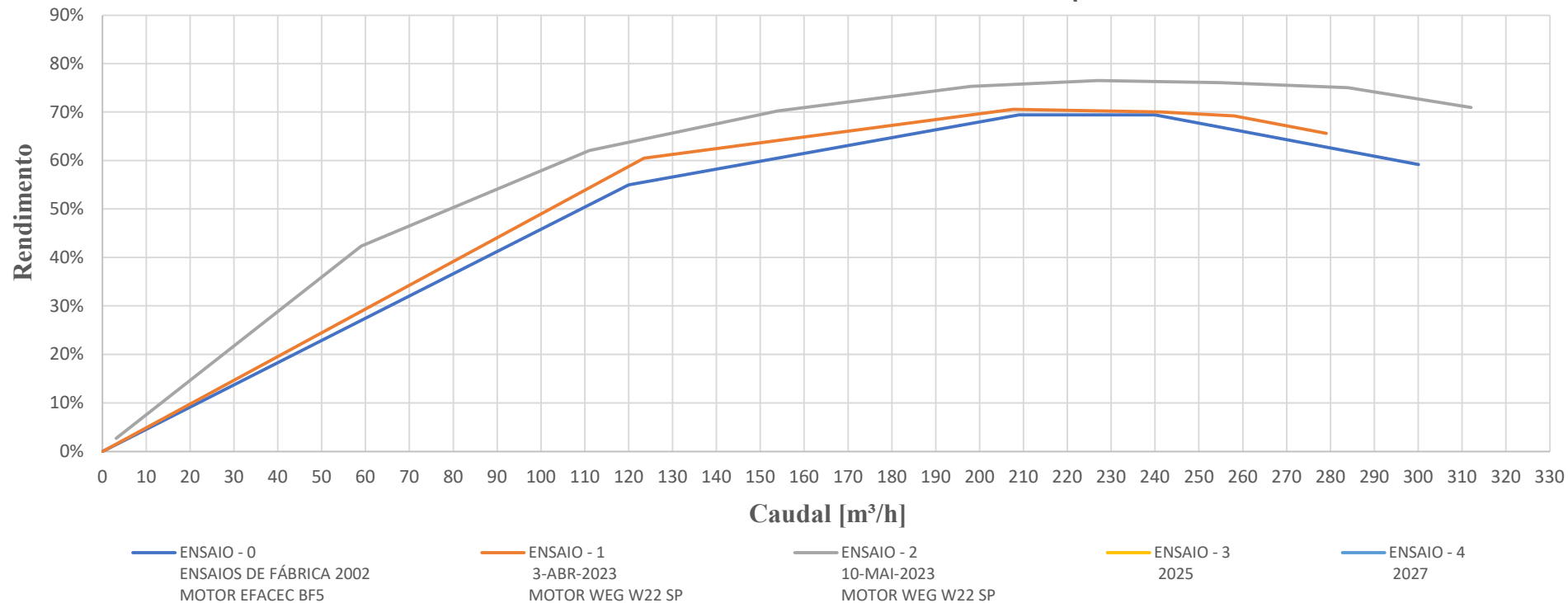
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	84,3%	279	94,8%	312	94,8%				
120	89,2%	258	94,8%	284	94,8%				
209	90,3%	241	94,7%	255	94,7%				
240	90,7%	208	94,6%	227	94,7%				
300	90,6%	123	94,1%	198	94,5%				
		0	91,1%	154	94,3%				
				111	94,0%				
				59	92,4%				
				3	91,3%				

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Q Vs η Motor [%]



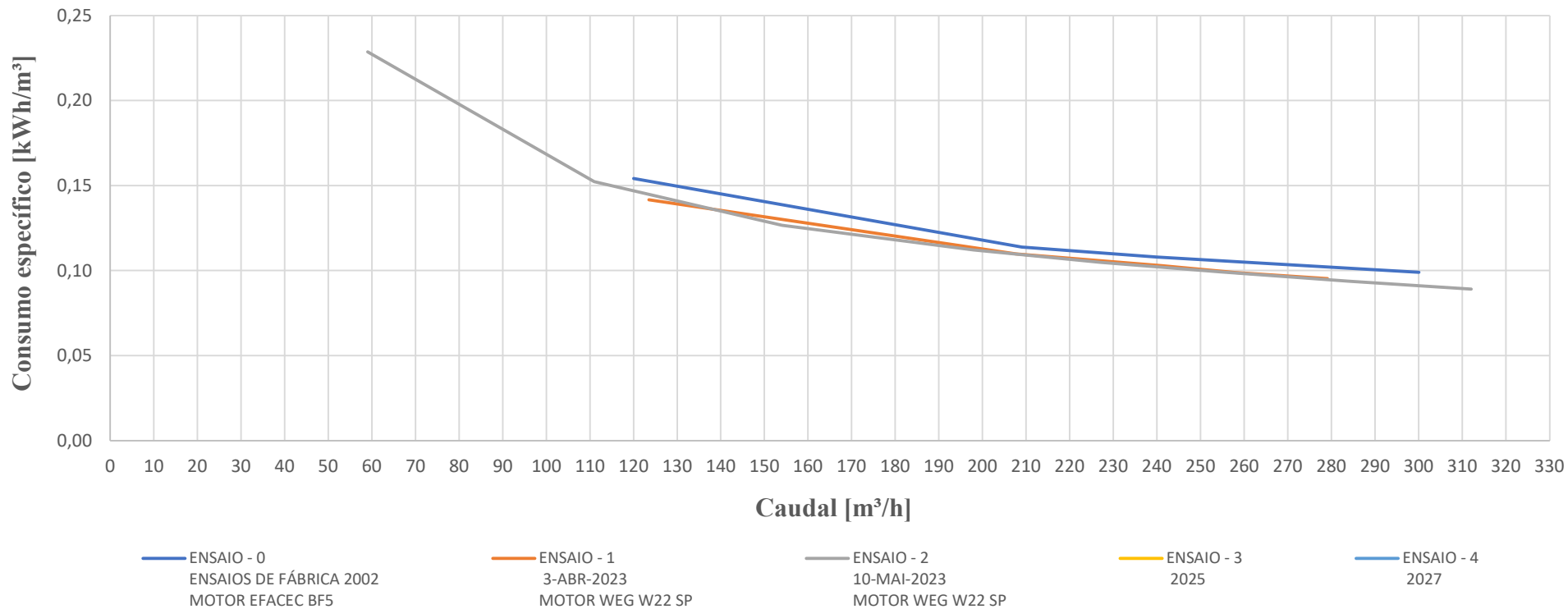
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	279	65,6%	312	70,9%				
120	55,0%	258	69,2%	284	75,0%				
209	69,4%	241	70,0%	255	76,0%				
240	69,4%	208	70,6%	227	76,5%				
300	59,2%	123	60,5%	198	75,3%				
		0	0,0%	154	70,2%				
				111	62,1%				
				59	42,3%				
				3	2,7%				

GRUPO COM BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843002 : Q Vs η Grupo Eletrobomba [%]



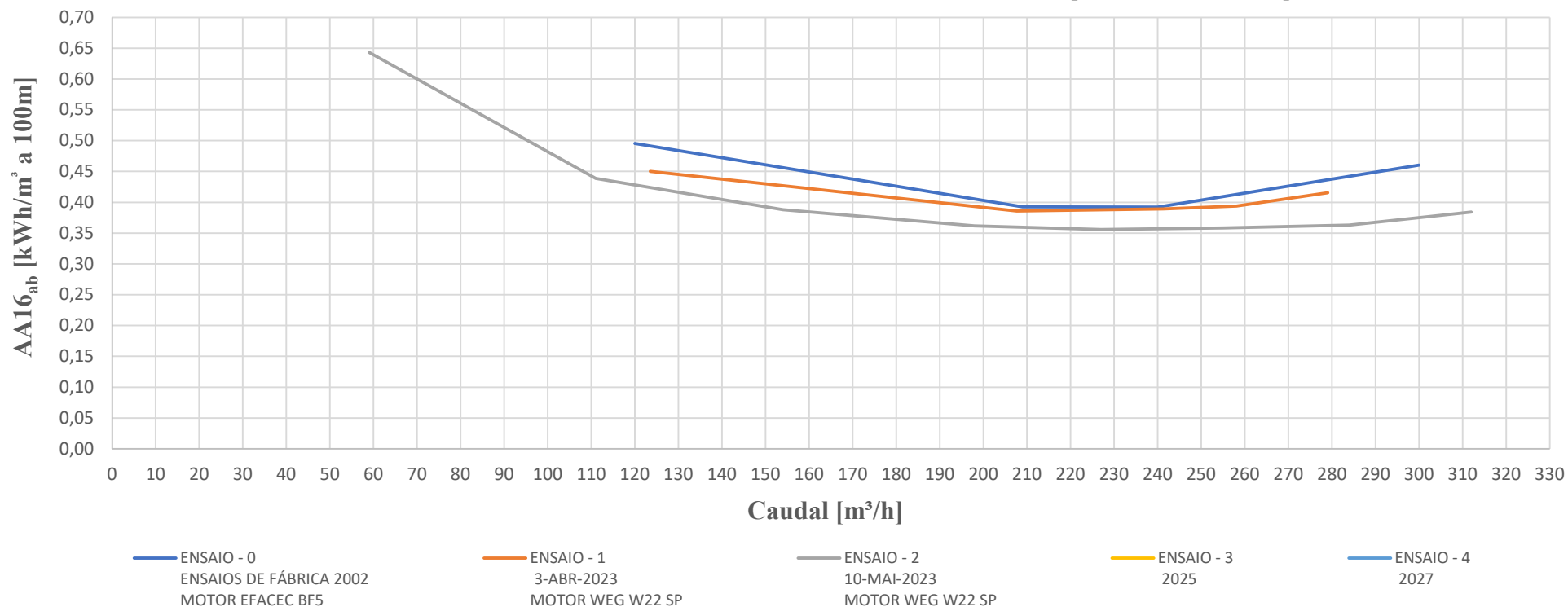
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0		279	0,10	312	0,09				
120	0,15	258	0,10	284	0,09				
209	0,11	241	0,10	255	0,10				
240	0,11	208	0,11	227	0,10				
300	0,10	123	0,14	198	0,11				
		0		154	0,13				
				111	0,15				
				59	0,23				

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs Consumo específico [kWh/m³]



ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ]
0		279	0,42	312	0,38				
120	0,50	258	0,39	284	0,36				
209	0,39	241	0,39	255	0,36				
240	0,39	208	0,39	227	0,36				
300	0,46	123	0,45	198	0,36				
		0		154	0,39				
				111	0,44				
				59	0,64				

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q Vs AA16ab [kWh/m<sup>3</sup> a 100m]



## **OBSERVAÇÕES**

Dos ensaios de 3-ABR-2023 para os ensaios de 10-MAI-2023, foi realizada uma intervenção de manutenção na bomba, que incluiu o seu revestimento com produto LOCTITE 7255. O motor sendo já um IE4 com boa fiabilidade (WEG W22 Super Premium IE4) não foi intervencionado.

Salienta-se que este grupo eletrobomba, podendo trabalhar em paralelo com mais dois grupos, tem uma zona de funcionamento relativamente extensa em termos de caudais. É importante a horizontalidade da reta de maiores rendimentos desta bomba, uma vez que refleta um maior intervalo de caudais em que é possível obter consumos específicos reduzidos.

**Data** 30/mai/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Curvaceiras **Destino Elev.** Res. Soudos **Grupo** 4

**MOTOR** **Marca** WEG **Modelo** W22 SUPER PREMIUM **S/N** 1051123807 **P [kW]** 30

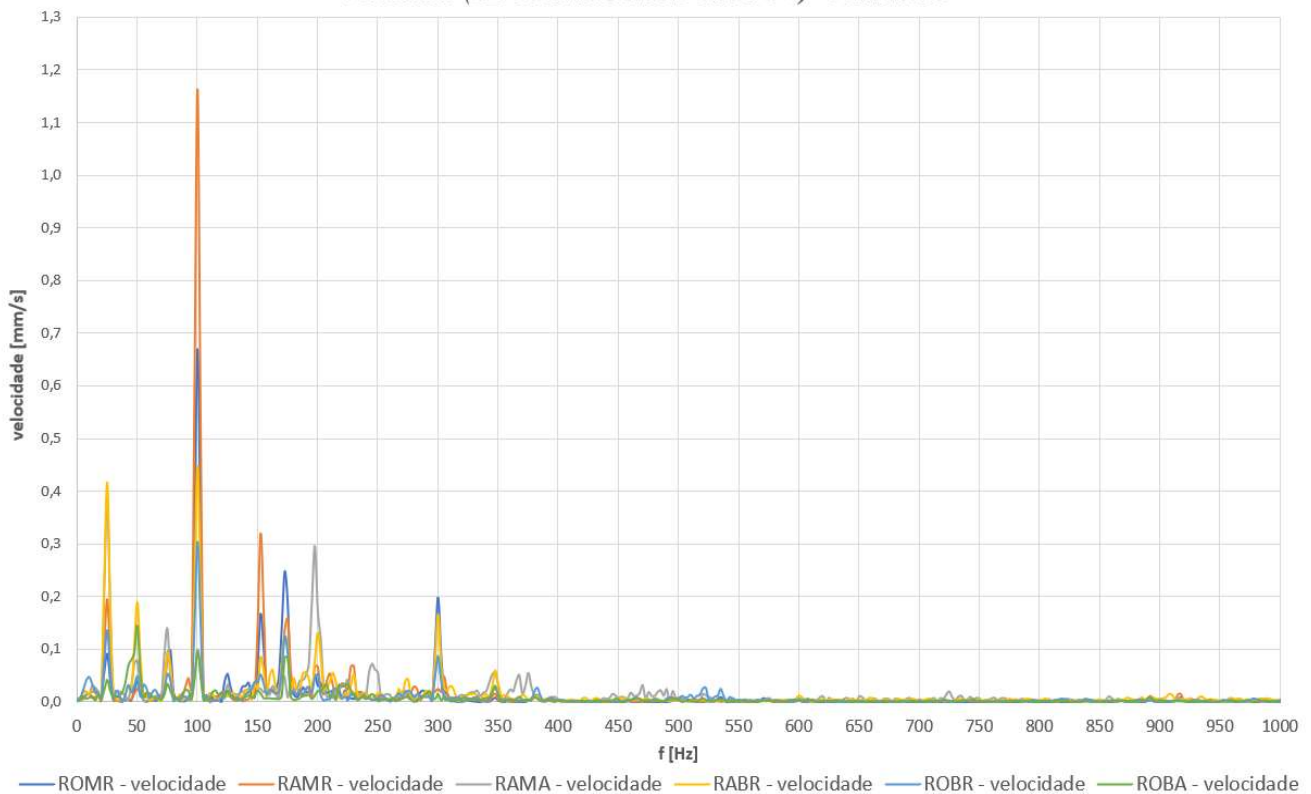
**BOMBA** **Marca** EFACEC **Modelo** CJG 125-315 **S/N** 22843004 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 209  
**H<sub>n</sub> [m]** 29

## 1. Velocidade de vibração

(ISO 10816-1) [mm/s]

RMS	ROMR		RAMR		RAMA		RABR		RABA	
	Valor	Unidade	Valor	Unidade	Valor	Unidade	Valor	Unidade	Valor	Unidade
	0,757	mm/s	1,349	mm/s	0,840	mm/s	0,730	mm/s	0,343	mm/s

*MOTOR WEG W22 S. PREM. SN 1051123807 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843004  
Velocidade (EE CURVACEIRAS GRUPO 4) - 30MAI2023*



**Siglas:** ROMR - Rolamento oposto motor radial ; RAMR - Rolamento ataque motor radial ; RAMA ; Rolamento ataque motor axial ; RABR - Rolamento ataque bomba radial ; ROBR - Rolamento oposto bomba radial ; ROBA - Rolamento oposto bomba axial.

**Observações** As medidas de velocidade de vibração na bomba, foram efetuadas diretamente na caixa de rolamentos enquanto que no motor foram utilizadas as bases existentes para execução de medidas de vibração.

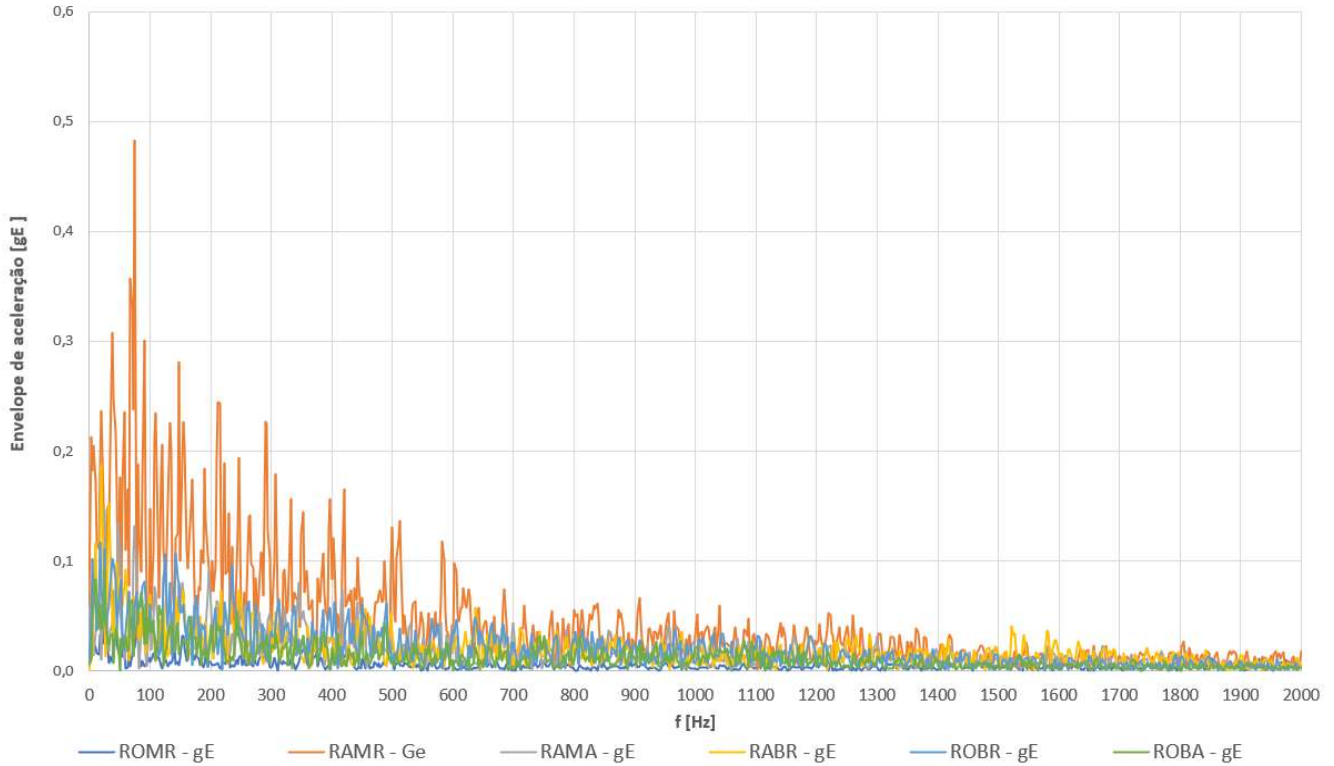
Os valores RMS de velocidade de vibração registadas têm valor irrelevante.

Portanto, ao nível de desequilíbrios, desalinhamentos ou folgas, não foram registados quaisquer indícios de possível causa de falha, que requeiram acompanhamento.

## 2. Envelope de aceleração

PICO A PICO	ROMR	0,505	gE	RAMR	6,033	gE	RAMA	3,748	gE	(SKF-Envelope de aceleração) [gE] 3000 rpm		
	ROBR	1,976	gE	RABR	1,457	gE	RABA	0,888	gE	<4	4-10	≥10

**MOTOR WEG W22 S. PREM. SN 1051123807 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843004**  
**Envelope de aceleração gE (EE CURVACEIRAS GRUPO 4) - 30MAI2023**



**Observações** Os valores pico a pico do envelope de aceleração revelaram um indicio de desenvolvimento de falha no RAMR, situação já em acompanhamento desde o comissionamento deste motor.

## 3. Fotos do trabalho desenvolvido



**Data** 30/mai/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Curvaceiras **Destino Elev.** Res. Soudos **Grupo** 4

**MOTOR** **Marca** WEG **Modelo** W22 SUPER PREMIUM **S/N** 1051123807 **P [kW]** 30

**BOMBA** **Marca** EFACEC **Modelo** CJG 125-315 **S/N** 22843004 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 209  
**H<sub>n</sub> [m]** 29

**Hora de inspeção** 16h30 - 17h00 **Estabilização térmica** 3h **Regime de carga** 2/3 da carga nominal

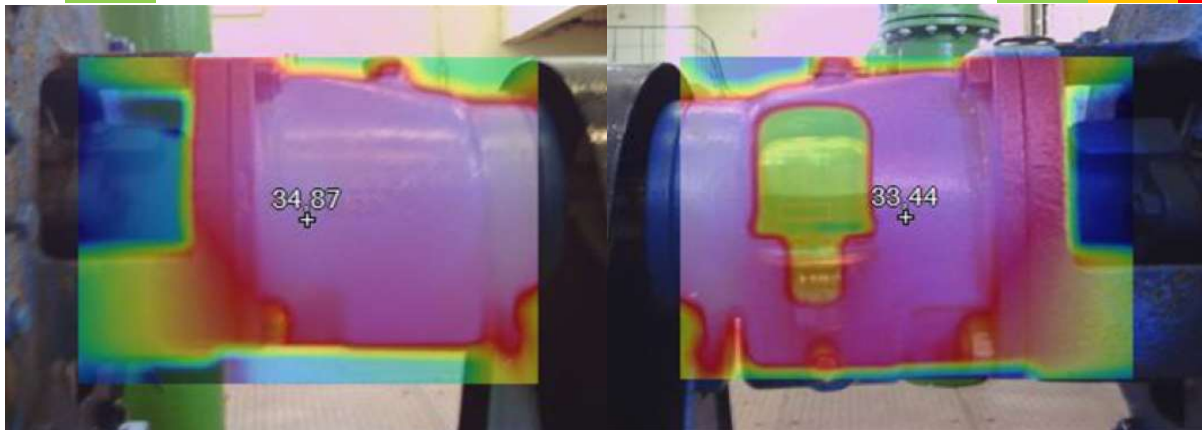
## 1. Bomba - Caixa de rolamentos

1.1 RA 32 °C SKF 3309 A/C3 ISO VG46 IV≥105 2000h

1.2 ROA 35 °C SKF 23NU09 ISO VG46 IV≥105 2000h

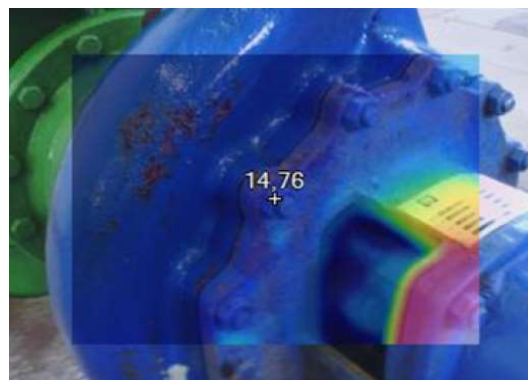
<70°C 70-90°C >90°C

<70°C 70-90°C >90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento quer para os rolamentos, quer para o lubrificante.

## 2. Bomba - empanque



**Observações** Sem registo de perda de água nem de aquecimento.

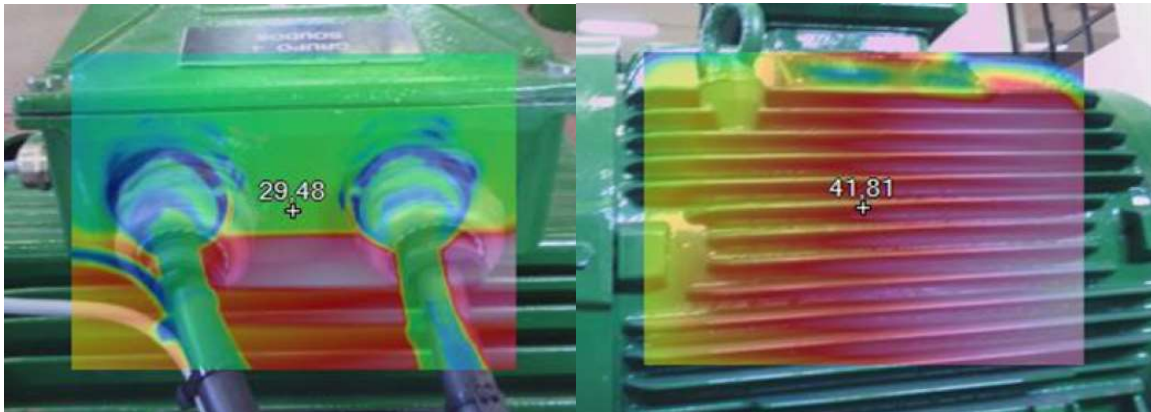
### 3. Motor - carcaça e cablagem

3.1 Cabo de alimentação 30 °C (Isolamento PVC  $T_{m\acute{a}x} < 70^{\circ}\text{C}$ )

3.2 Carcaça do motor 42 °C

<60°C	60-70°C	>70°C
<60°C	60-70°C	>70°C

Termistor (PTC) num enrolamento para proteger o motor quando a temperatura atingir os 155 °C



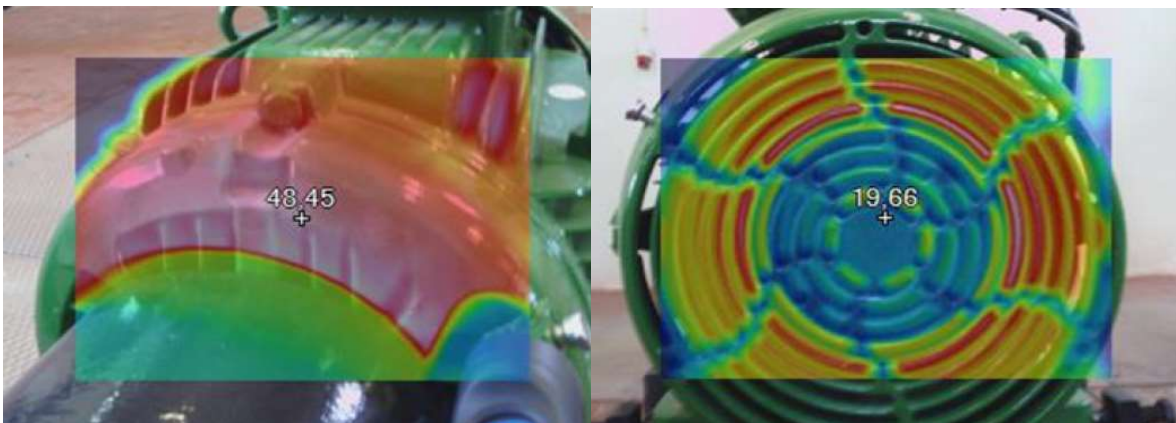
**Observações** Valores normais de temperatura.

### 4. Motor - rolamento ataque e oposto

4.1 RA 49 °C 6312 ZZ C3 (selado - sem relubrificação )

4.2 ROA 30 °C 6212 ZZ C3 (selado - sem relubrificação )

<70°C	70-90°C	>90°C
<70°C	70-90°C	>90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento.

*Em anexo a este registo de inspeção está um relatório elaborado no software Fluke connect com alguma informação adicional sobre a avaliação termográfica.*

# EPAL/ISEL ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE CURVACEIRAS AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA DO GRUPO 4 DE ELEVAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE SOUDOS

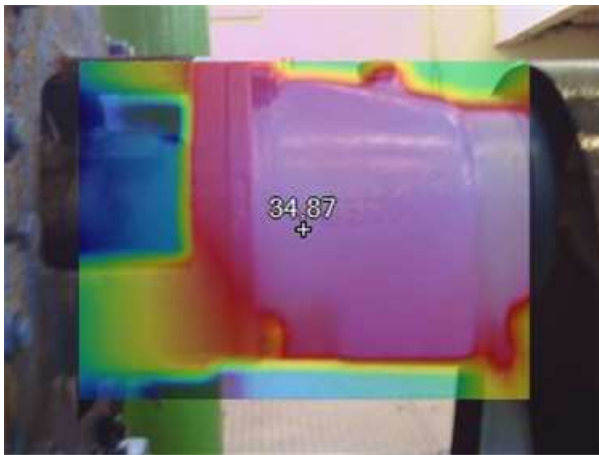
**Sumário:** Em termos de procedimento de ensaio, o grupo electrobomba entrou em exploração às 13h30, tendo-se aguardado 3h pela sua estabilização térmica. Sendo um grupo de 30kW, a trabalhar a cerca de 2/3 da carga, foi possível recolher informação termográfica representativa da sua condição de funcionamento. As zonas avaliadas são as zonas dos rolamentos na bomba e no motor, havendo ainda foco na carcaça do motor, onde existem perdas térmicas resistivas no estator e no rotor.

## Table of Contents

IR_00263EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2 .....	3
IR_00264EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2 .....	4
IR_00265EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2 .....	5
IR_00262 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2 .....	6
IR_00258 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2 .....	7
IR_00261 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2 .....	8
IR_00256 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2 .....	9
IR_00257 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2 .....	10
IR_00259 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2 .....	11

## IR\_00263EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

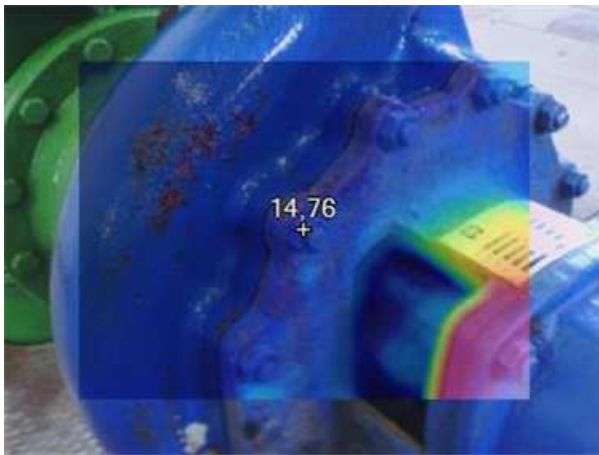
<b>Name</b>	IR_00263EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	13,01 °C até 36,24 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:38:51 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	34,9 °C	34,9 °C	34,9 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00264EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

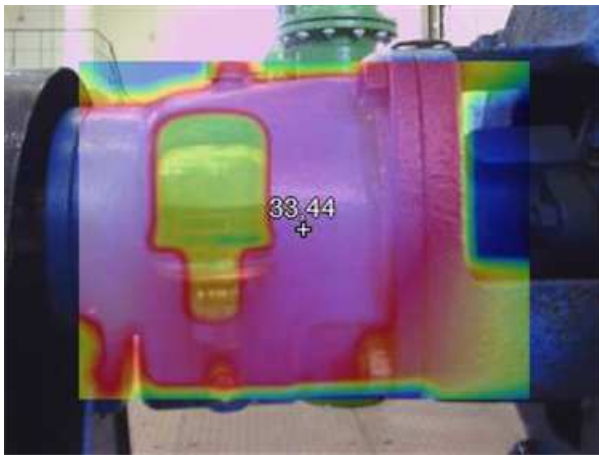
<b>Name</b>	IR_00264EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	12,16 °C até 35,97 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:39:03 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	14,8 °C	14,8 °C	14,8 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00265EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

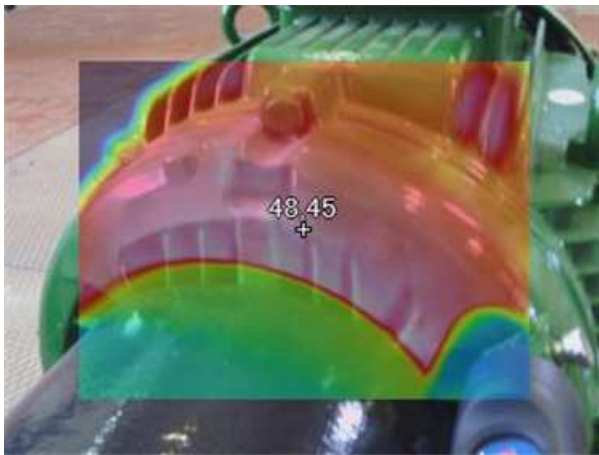
<b>Name</b>	IR_00265EE CUR SOUDOS G4 BOMBA.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	15,31 °C até 35,54 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:39:19 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	33,4 °C	33,4 °C	33,4 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00262 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

<b>Name</b>	IR_00262 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,58 °C até 51,11 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:38:37 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	48,4 °C	48,4 °C	48,4 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00258 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

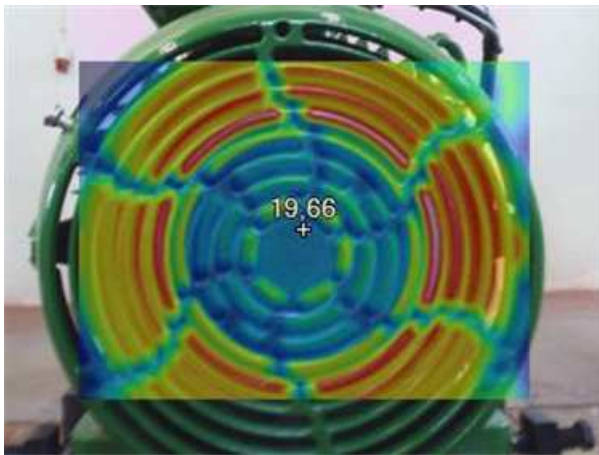
<b>Name</b>	IR_00258 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	16,97 °C até 50,52 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:37:23 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	29,5 °C	29,5 °C	29,5 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00261 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

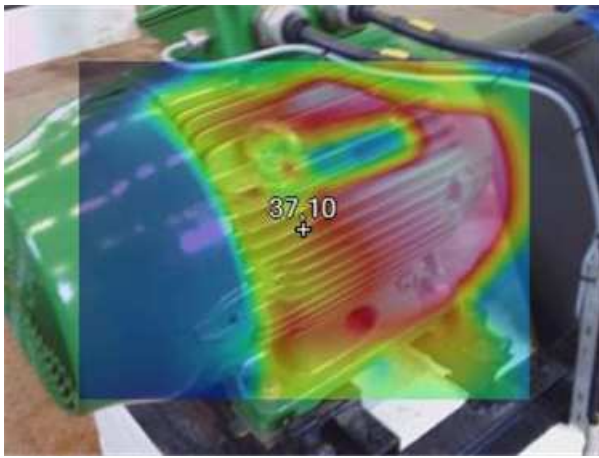
<b>Name</b>	IR_00261 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,92 °C até 29,70 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:38:15 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	19,7 °C	19,7 °C	19,7 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00256 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

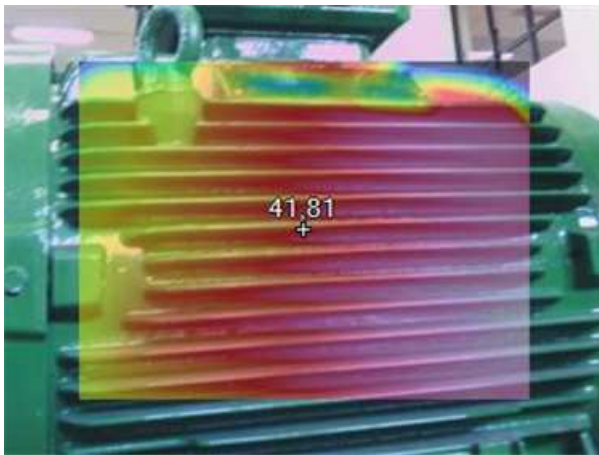
<b>Name</b>	IR_00256 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,73 °C até 46,43 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:36:47 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	37,1 °C	37,1 °C	37,1 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00257 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

<b>Name</b>	IR_00257 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,93 °C até 48,32 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:37:07 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	41,8 °C	41,8 °C	41,8 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

## IR\_00259 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2

<b>Ambient Air Temperature</b>		<b>Load (%)</b>	
<b>Potential Problem</b>		<b>Repair Priority</b>	
<b>Reflected Temperature</b>	22,00 °C	<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation
<b>Camera</b>	Ti300+		



### Image Info

<b>Name</b>	IR_00259 EE CUR SOUDOSG4 MOTOR.is2
<b>Background Temperature</b>	22,00 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,83 °C até 47,50 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20050517
<b>Image Time</b>	30/05/2023 17:37:44 PM

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	46,1 °C	46,1 °C	46,1 °C	0,95	22,0 °C	0,00	

Data:	14/jun/23	Responsável:	Miguel Fernandes		
Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125/315	S/N	22843004
Est. Elev.	CURVACEIRAS	Destino	SODOS	Gr.	GRUPO 4
Local	Oficina EPAL V. F. de Xira	Localidade	V. F. de Xira		

## 1. Avaliação da bomba antes da desmontagem

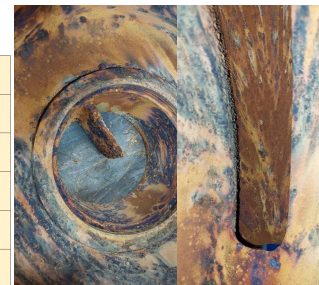
1.1	Conservação do revestimento exterior	Degradado.
1.2	Estado da flange de compressão	Satisfatório
1.3	Estado da flange de aspiração	Degradada
1.4	Estado dinâmico do conjunto rotórico	Nada a registar
1.5	Estado das alhetas de aspiração do impulsor	Ligeira perda de material
1.6	Estado do veio	Nada a registar
1.7	Estado do acoplamento	Intacto
1.8	Estado do empanque	Desgastado
1.9	Estado da caixa de rolamentos	Bom
1.10	Avaliação de perdas de óleo	Sem perda de óleo



**Observações** A receção da bomba em oficina revelou uma condição muito boa em termos mecânicos, apenas com registo de perda de revestimento exterior.

## 2. Avaliação da voluta

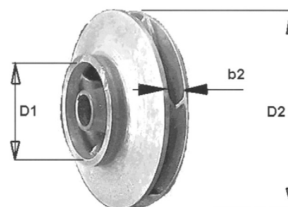
2.1	Conservação do revestimento interior	Sem revestimento.
2.2	Estado do material de base	Razoável
2.3	Estado do canal de entrada	Razoável
2.4	Estado do canal de saída	Bom
2.5	Estado dos pés de apoio	Razoável
2.6	Estado dos pernes de fecho	Razoável



**Observações** A voluta apresentava o seu interior com zona com corrosão. No exterior alternavam as zonas onde existia revestimento com zonas com corrosão localizada.

## 3. Avaliação do impulsor

3.1	Material	Bronze
3.2	D1 [mm]	184
3.3	D2 [mm]	372
3.4	b2 [mm]	25
3.5	Nº alhetas	7
3.6	massa [kg]	-
3.7	Desgaste nos canais de entrada	Insignificante
3.8	Desgaste nos canais de saída	Significativo



**Observações** O impulsor apresentava alguma perda de material.

#### 4. Avaliação do veio

4.1	Material	AISI 420	4.2	Corrosão	Sem Corrosão
4.2	Massa	-			
4.3	L [mm]	565			
4.3	L1 [mm]	112	4.3	D1 [mm]	-
4.3	L2 [mm]	170	4.3	D2 [mm]	44,5
4.3	L3 [mm]	203	4.3	D3 [mm]	41,5
4.4	L4 [mm]	282,45	4.4	D4 [mm]	44,5
4.4	Desgaste no apoio do rolamento do ataque				Sem desgaste
4.5	Desgaste no apoio do rolamento do oposto				Sem desgaste
4.6	Desgaste no apoio do impulsor				Sem desgaste
4.7	Desgaste na zona do empanque				Ligeiro



**Desenho** Os rolamentos são apoiados no diâmetro do veio de 44,5 mm e o empanque trabalha numa camisa com diâmetro igual a 41,5 mm.

**Observações** Veio em boas condições para a continuidade em serviço.

#### 5. Avaliação do empanque

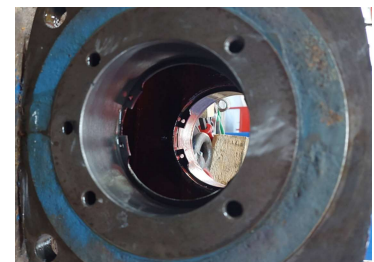
5.1	Integridade	Sim
5.2	Estanqueidade	Bom



**Observações** O empanque encontrava-se totalmente operacional com perdas irrelevantes de fluido. É possível observar o normal desgaste dos materiais de vedação, razão pela qual se recomenda a substituição do empanque.

#### 6. Avaliação de caixas e de rolamentos

6.1	Estado do rolamento do ataque	Desgaste normal
6.2	Estado do rolamento do oposto	Desgaste normal
6.3	Avaliação do compensador	Boa condição
6.4	Avaliação do óleo contido na caixa	Escurecido
6.5	Ref. Rolamento ataque	SKF 3309 A/C3 AUSTRIA
6.6	Ref. Rolamento oposto	SKF 2309NU



**Observações** O óleo na caixa de rolamentos encontrava-se escurecido. Este facto é relevante uma vez que indicia que foi atingida uma temperatura superior à temperatura máxima do óleo. Necessário avaliar o óleo lubrificante a utilizar e as folgas nos rolamentos (interior e exterior).

Data: sex 07/07/2023

Responsável: Miguel Fernandes

## 0. Sumário executivo

O trabalho de reparação na voluta e no impulsor apresentam boa qualidade ao nível dos produtos aplicados, em conformidade com as exigências do setor da água potável. A proteção contra corrosão deverá estar assegurada bem como a melhoria do desempenho da bomba.

O processo manual de aplicação dos diferentes produtos implica menor rigor na distribuição das camadas, na sua regularização e nos propriedades mecânicas que se obtêm. Foi possível constatar com a medição de espessuras de revestimento algumas assimetrias ao longo das superfícies e o não cumprimento das espessuras pré-definidas. As rugosidades medidas estão muito acima dos valores que são anunciados pela marca Belzona para este tipo de trabalhos, facto que deverá ter algum peso negativo na melhoria de desempenho que será obtida. A leitura pormenorizada dos folhetos técnicos do produto 1111 e do produto 1341, permitem verificar que as propriedades mecânicas são significativamente melhoradas quando são respeitados os tempos de cura e a melhor temperatura de secagem. A melhoria das características mecânicas deverá implicar uma maior longevidade da bomba em patamares de desempenho considerados como aceitáveis.

## 1. Caracterização da instalação

1.1 Sistema	Castelo do Bode	1.5 Subsistema	Médio Tejo Norte
1.2 Designação	EE Curvaceiras	1.6 Coordenadas	N 39°32'13.15" W 8°27'7.06"
1.3 Destino	Reservatório de Soudos		39.536996 -8.451952
1.4 Grupo	Grupo 4		

Observações

## 2. Caracterização da bomba

2.1 Marca	EFACEC	2.8 Empanque	Mecânico	2.15 Aspiração - Tipo	Axial
2.2 Modelo	CJG 125-315	2.9 Veio	AISI 420	2.16 Compressão - Tipo	Radial
2.3 Número de Série	22843004	2.10 Corpo	Ferro Fundido	2.17 Aspiração - Flange	DN150
2.4 Caudal nominal [m³/h]	209	2.11 Anel de Desgaste	Bronze	2.18 Compressão - Flange	DN125
2.5 Altura nominal [m.c.a.]	29	2.12 Impulsor - Material	Bronze	2.19 Massa [kg]	-
2.6 N [rpm]	1500	2.13 Impulsor - Tipo	Fechado	2.20 Ano	2002
2.7 Potência Nominal [kW]	30	2.14 Impulsor - D [mm]	301		

Observações

## 3. Caracterização do trabalho realizado - voluta

3.1 Tipo de trabalho	Revestimento	3.5 Item 2.	Limpeza superfícies	3.9 Item 6.	Revestimento Belz. 1341
3.2 Empresa	Belzona	3.6 Item 3.	Enchimento (Belz.1111)	3.10 Item 7.	Pintura exterior
3.3 Procedimento	Manual	3.7 Item 4.	Recuperação de superf.	3.11 Item 8.	1 878,20 €
3.4 Item 1.	Decapagem int. e ext.	3.8 Item 5.	Revestimento Belz. 1341		

Observações Não foi especificado o método de execução da decapagem. Todas as zonas onde existia perda de material foram recuperadas com Belzona 1111 com posterior regularização de superfícies. O revestimento foi efetuado com duas camadas de Belzona cerâmico 1341 com 250µm por camada. A pintura exterior foi efetuada com primário e duas camadas de tinta.

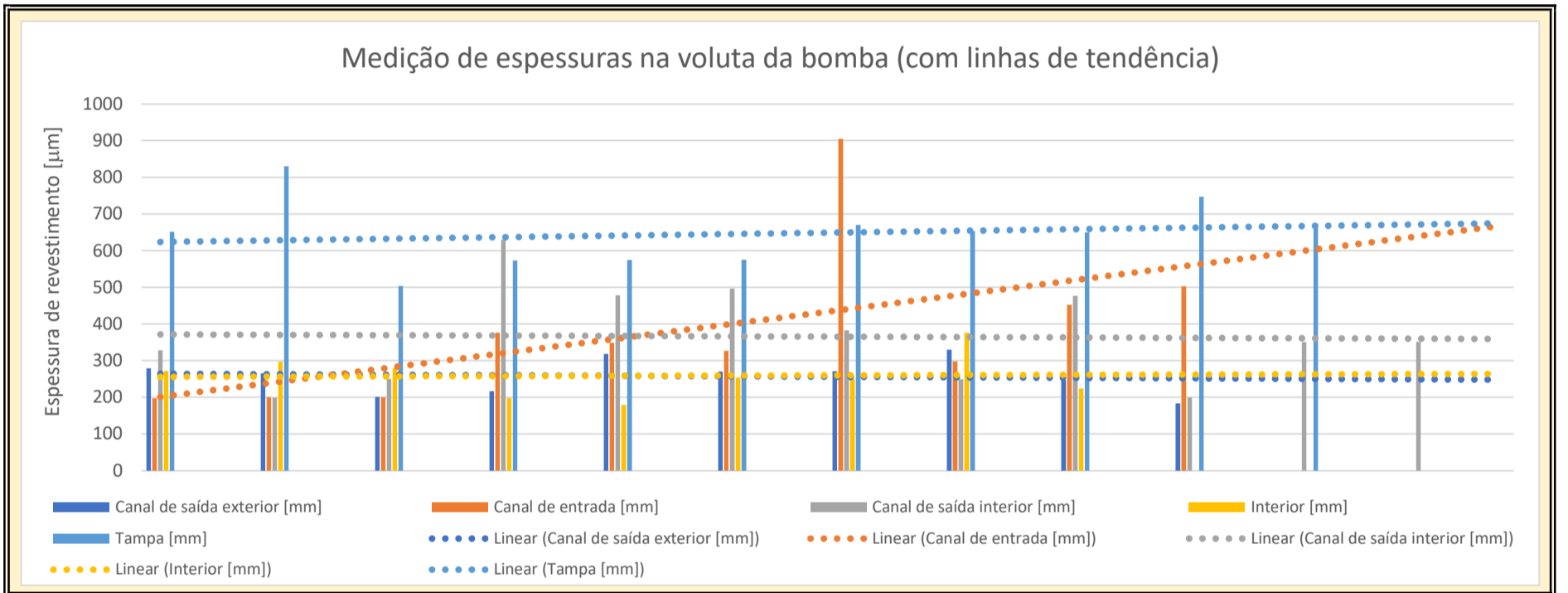
Fotos



### 4. Avaliação do trabalho realizado - voluta: espessuras

4.1 Canal de saída exterior [µm]	279,1	264,9	200,7	217	318,4	270,4	271,2	330	246,4	183,6			Média	258,2	Desvio Padrão	45,04
4.2 Canal de entrada [µm]	197	199,9	199,8	375,7	348,4	326,5	905	297,9	452,4	502,6			Média	380,5	Desvio Padrão	201,2
4.3 Canal de saída interior [µm]	328,1	198,4	250	630,3	477,9	496,2	382,6	249,3	476,7	199,2	350,5	351,1	Média	365,9	Desvio Padrão	128
4.4 Interior [µm]	271,7	296,9	280	197,6	179,3	253,6	250	375,7	223,9				Média	258,7	Desvio Padrão	54,9
4.5 Tampa [µm]	651	829,8	503,8	572,9	574,7	575,5	670,4	653,4	649,5	746,6	674		Média	645,6	Desvio Padrão	85,81
4.6 [µm]													Média		Desvio Padrão	

Gráfico



Registos

EPAL CURVACEIRAS... EE CURVACEIRAS... EE CURVACEIRAS... EE CURVACEIRAS... EE CURVACEIRAS...				
<p>EPAL CURVACEIRAS GR4 BOMBA CANAL SAIDA EXTERIOR</p> <p>Friday, July 7, 2023 10:26:49</p> <p>Layer thickness</p> <p>EPAL</p> <p>BB30</p> <p>Evaluations</p> <p>Evaluation parameters</p> <p>Values</p> <p>µm</p> <p>279.1</p> <p>264.9</p> <p>200.7</p> <p>217</p> <p>318.4</p> <p>270.4</p> <p>271.2</p> <p>330</p> <p>246.4</p> <p>183.6</p>	<p>EE CURVACEIRAS GR4 BOMBA CANAL ENTRADA</p> <p>Friday, July 7, 2023 10:23:47</p> <p>Layer thickness</p> <p>EPAL</p> <p>BB30</p> <p>Evaluations</p> <p>Evaluation parameters</p> <p>Values</p> <p>µm</p> <p>197</p> <p>199.9</p> <p>199.8</p> <p>375.7</p> <p>348.4</p> <p>326.5</p> <p>905</p> <p>297.9</p> <p>452.4</p> <p>502.6</p>	<p>EE CURVACEIRAS GR4 BOMBA VOLUTA CANAL SAIDA INTERIOR</p> <p>Friday, July 7, 2023 10:19:43</p> <p>Layer thickness</p> <p>EPAL</p> <p>BB30</p> <p>Evaluations</p> <p>Evaluation parameters</p> <p>Values</p> <p>µm</p> <p>328.1</p> <p>198.4</p> <p>250</p> <p>630.3</p> <p>477.9</p> <p>496.2</p> <p>382.6</p> <p>249.3</p> <p>476.7</p> <p>199.2</p> <p>350.5</p> <p>351.1</p> <p>351.7</p>	<p>EE CURVACEIRAS GR4 BOMBA VOLUTA</p> <p>Friday, July 7, 2023 10:16:03</p> <p>Layer thickness</p> <p>EPAL</p> <p>BB30</p> <p>Evaluations</p> <p>Evaluation parameters</p> <p>Values</p> <p>µm</p> <p>271.7</p> <p>296.9</p> <p>280</p> <p>197.6</p> <p>179.3</p> <p>253.6</p> <p>250</p> <p>375.7</p> <p>223.9</p>	<p>EE CURVACEIRAS GR4 BOMBA TAMPA</p> <p>Friday, July 7, 2023 10:14:51</p> <p>Layer thickness</p> <p>EPAL</p> <p>BB30</p> <p>Evaluations</p> <p>Evaluation parameters</p> <p>Values</p> <p>µm</p> <p>651</p> <p>829.8</p> <p>503.8</p> <p>572.9</p> <p>574.7</p> <p>575.5</p> <p>670.4</p> <p>653.4</p> <p>649.5</p> <p>746.6</p> <p>674</p>

Observações

Constata-se que a aplicação manual não assegura a uniformidade de espessura pretendida. A espessura contratualizada não foi verificada globalmente.

Instrumento de medição de espessuras: Trotec BB30 SN 8378 Ano:2019 (Parametrização para medição em ferro como material de base).

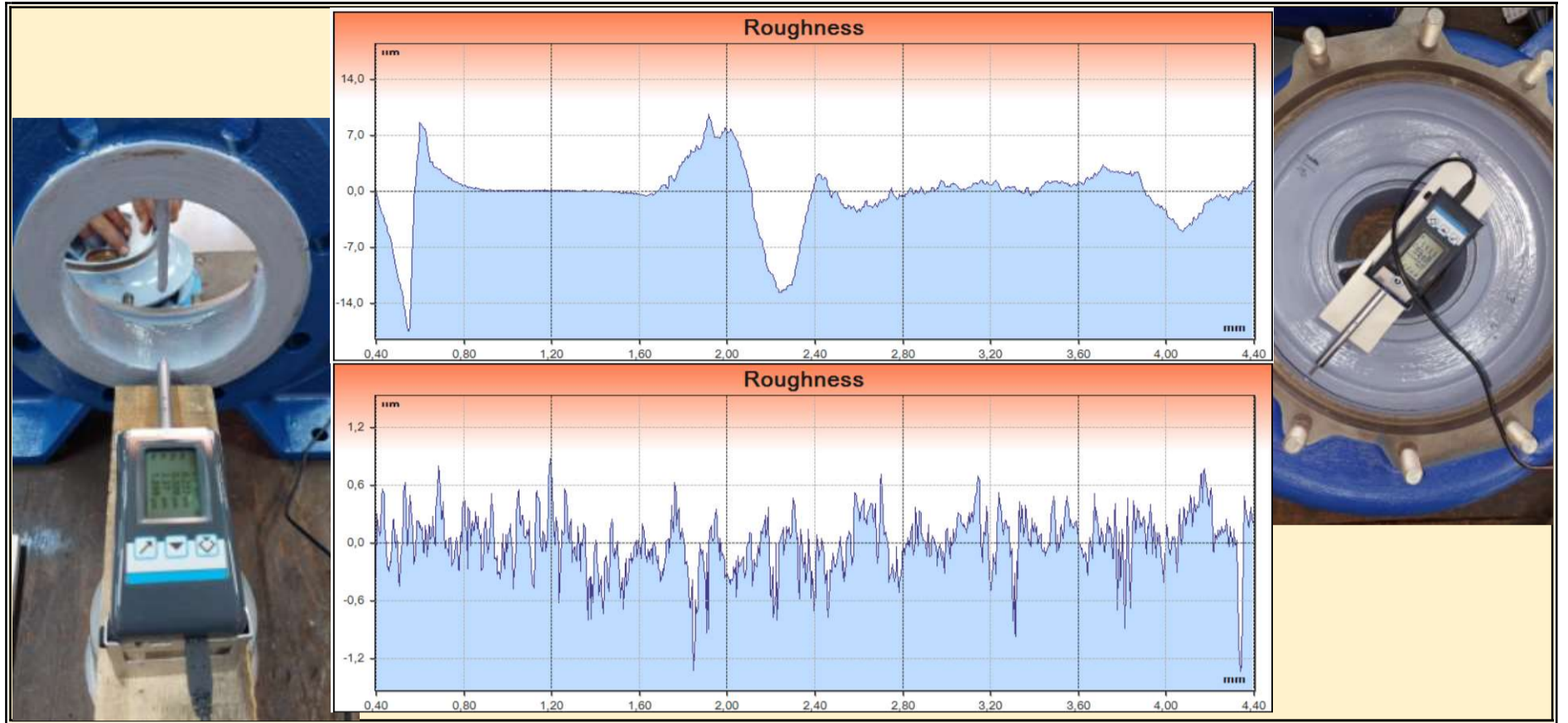
### 5. Avaliação do trabalho realizado - voluta: rugosidades

	Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPC
5.1 Tampa P1 [µm]	1,028	1,18	6,214	3,586	1,243	5,918	172,2	67
5.2 Tampa P2 [µm]	1,488	1,685	8,038	5,253	5,357	8,038	729,4	20
5.3 Tampa P3 [µm]	1,083	1,289	8,322	4,117	0,844	6,646	102,1	70
5.4 Tampa P4 [µm]	0,328	0,404	2,986	2,031	0,677	2,53	58,1	185
5.5 Canal de entrada P1 [µm]	0,237	0,309	2,371	1,899	0,546	2,286	33,1	340
Média	0,982	1,14	6,39	3,747	2,03	5,783	265,5	85,5
	0,237	0,309	2,371	1,899	0,546	2,286	33,1	340

5.6 Canal de saída P1 [µm]	0,194	0,246	2,265	1,347	0,446	1,686	33,4	337
5.7 Interior P1 [µm]	2,058	2,385	11,23	7,537	2,788	9,896	358,1	25
5.8 Interior P2 [µm]	1,66	1,816	12,43	5,099	0,738	12,43	102,3	95
5.9 Interior P3 [µm]	1,87	2,212	17,33	6,972	1,467	17,33	216,2	50
5.10 Interior P4 [µm]	2,326	3,497	27,59	13,79	7,014	26,37	88,2	145

	0,194	0,246	2,265	1,347	0,446	1,686	33,4	337
Média	1,979	2,478	17,14	8,349	3,002	16,5	191,2	78,75

Gráfico



Observações

No tampa e na voluta, tratando-se de áreas de maior dimensão circulares, foram executadas leituras em 4 zonas distintas, sensivelmente com 90° de distância entre si.

*Instrumento de medição de rugosidades: Tesa Rugosurf 20 SN XXXX Ano:2023.*

## 6. Caracterização do trabalho realizado - impulsor

6.1 Tipo de trabalho	Revestimento	6.5 Item 2.	Limpeza superfícies	6.9 Item 6.	Equilibragem
6.2 Empresa	Belzona	6.6 Item 3.	Enchimento (Belz.1111)	6.10 Item 7.	Revestimento Belz. 1341
6.3 Procedimento	Manual	6.7 Item 4.	Recuperação de superf.	6.11 Item 8.	670,00 €
6.4 Item 1.	Decapagem int. e ext.	6.8 Item 5.	Revestimento Belz. 1341	6.12 Dext [mm]	

Observações

O impulsor, ainda que seja em Bronze, apresentava algumas zonas com perdas de material que, sujeito a um período longo entre intervenções, poderia ser uma zona que implicaria diminuição da eficiência. O trabalho foi semelhante ao executado na voluta, tendo-se optado por uma equilibragem intermédia, entre aplicações das duas camadas de revestimento.

Fotos

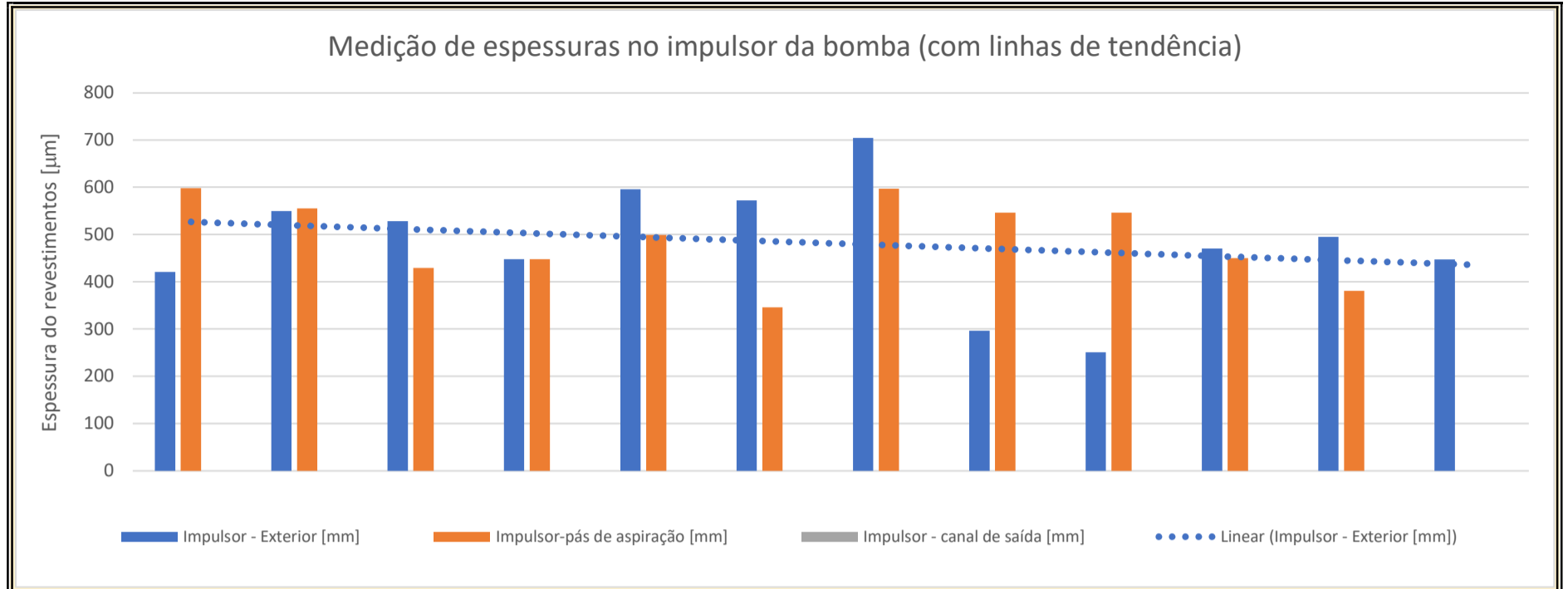


Observações

## 7. Avaliação do trabalho realizado - impulsor: espessuras

7.1 Impulsor - Exterior [µm]	420,8	549,5	528,4	447,5	596	572,1	704,4	296,4	250,7	470,5	495	447,4	Média	481,6	Desvio Padrão	119,6
7.2 Impulsor-pás de aspiração [µm]	598	555	429	448	499	346	597	546	546	450	381		Média	490,5	Desvio Padrão	81,68
7.3 Impulsor - canal de saída [µm]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Média		Desvio Padrão	

Gráfico



Registos

Observações

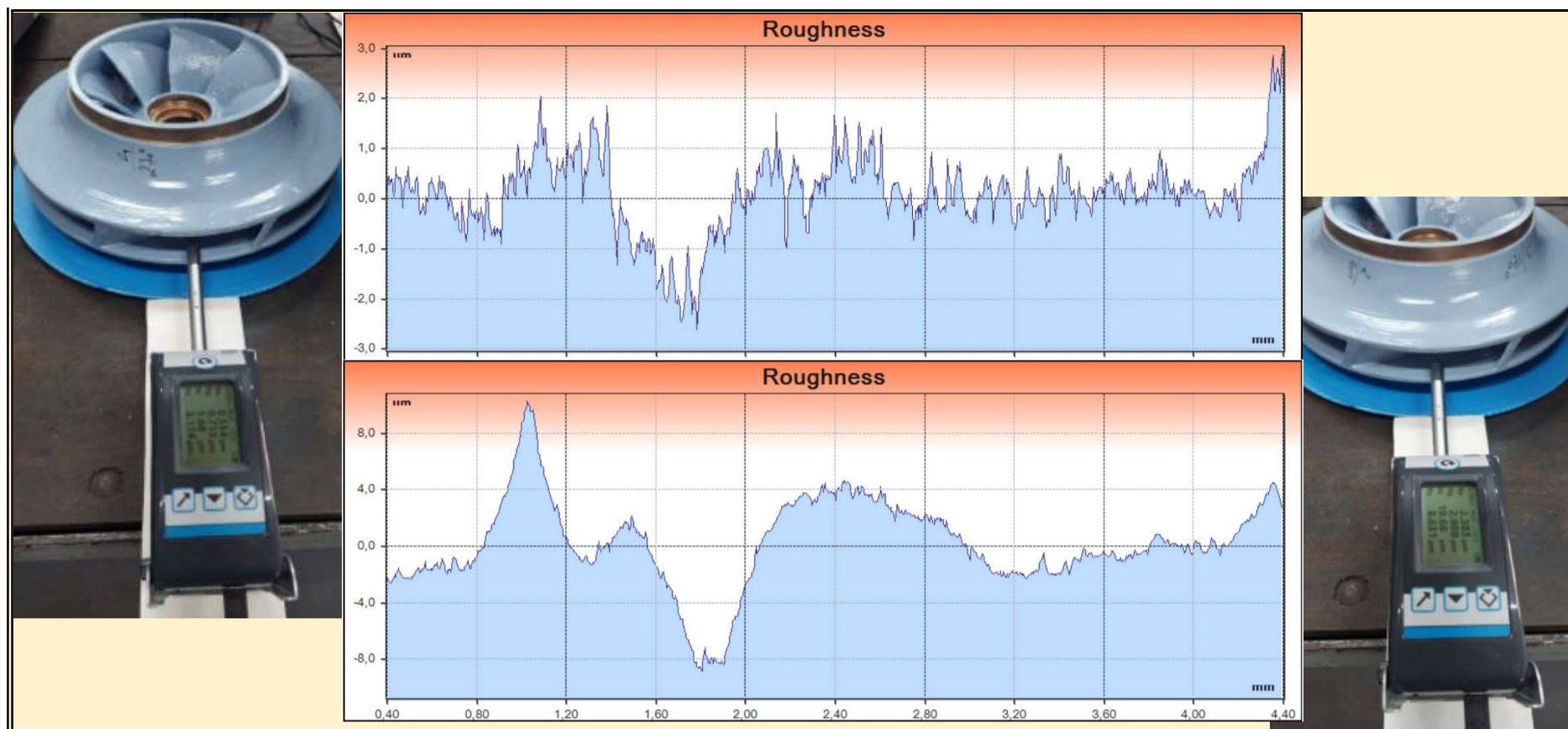
Em impulsores de dimensões semelhantes às deste impulsor é praticamente impossível de fazer medições de espessuras nos canais de saída. O valor médio da espessura de revestimento medida, aproxima-se do valor pré-definido de 500 µm.

**Instrumento de medição de espessuras: Trotec BB30 SN 8378 Ano:2019 (Parametrização para medição em ferro como material de base).**

## 8. Avaliação do trabalho realizado - impulsor: rugosidades

	Ra	Rq	Rt	Rz	Rc	Rmáx	RSm	RPC
8.1 Exterior entr. P1 [µm]	0,254	0,32	2,587	1,711	0,586	2,217	47,9	232
8.2 Exterior entr. P2 [µm]	1,811	2,072	12,88	6,585	3,144	12,01	309,9	27
8.3 Exterior entr. P3 [µm]	0,494	0,607	3,864	2,823	1,167	3,351	75,8	145
8.4 Exterior entr. P4 [µm]	1,332	1,598	9,556	4,411	1,474	6,816	159,3	55
8.5 Canal de saída P1 [µm]	1,104	1,319	7,092	4,808	1,601	6,657	127,4	87
8.6 Canal de saída P2 [µm]	1,047	1,25	7,545	3,815	1,604	7,52	277,1	40
8.7 Canal de saída P3 [µm]	2,383	2,989	19,66	8,631	3,026	13,2	221,6	40
8.8 Canal de saída P4 [µm]	1,47	1,802	9,058	5,624	1,365	6,631	135,4	70
8.9 Canal de saída P5 [µm]	1,494	1,793	11,97	6,702	2,903	10,88	131,1	85
8.10 Canal de saída P6 [µm]	0,554	0,713	5,676	3,174	0,825	4,59	61,9	175
8.11 Canal de saída P7 [µm]	4,472	5,474	26,03	19,06	12,44	21,91	274,9	37
8.12 Canal de entrada P1 [µm]	1,828	2,248	16,49	9,285	5,599	16,49	188,4	60
8.13 Canal de entrada P2 [µm]	8,136	10,41	66,5	43	26,98	55,15	368,7	25
8.14 Canal de entrada P3 [µm]	1,73	2,332	20,17	9,388	5,884	19,74	205,3	62
8.15 Canal de entrada P4 [µm]	8,865	10,73	69,77	38,61	31,1	62,51	375	25
8.16 Canal de entrada P5 [µm]	0,011	0,013	0,11	0,096	0,031	0,105	12,7	346
8.17 Canal de entrada P6 [µm]	3,68	4,6	41,52	18,35	12,71	40,11	289,3	37
8.18 Canal de entrada P7 [µm]	1,798	2,438	21,69	11,06	5,374	21,69	255,8	40
Média	0,973	1,149	7,222	3,883	1,593	6,099	148,2	114,8

Gráfico



Observações

Os gráficos de rugosidade apresentados são dos canais com maior rugosidade (PM3 foto da esquerda e gráfico de cima) e com menor rugosidade (PM6 foto da direita e gráfico de baixo).  
 Nas 7 medições realizadas no canal de entrada não se conseguiu imobilizar completamente o rugosímetro, razão pela qual se deve considerar um maior erros nos valores medidos.

### 9. Avaliação da voluta da bomba - revestimento exterior

9.1 Tipo de trabalho	Revestimento	9.5 1ª Camada		
9.2 Empresa	Belzona	9.6 2ª Camada		
9.3 Procedimento	Manual			
9.4 Primário				

Observações

### 10. Avaliação da voluta da bomba - revestimento exterior - espessuras

10.1 Caracol [µm]	50,8	99,5	73,9	99,1	128	99,7	26	50,9	101	49	37,4	83,1	Média	74,87	Desvio Padrão	30,28
10.2 Flange aspiração [µm]	49,1	64,9	26,1	23,2	118	50,5	14,3	49,8	32,3	50,5			Média	47,87	Desvio Padrão	27,71
10.3 Flange compressão [µm]	50,3	49,9	49,3	75,6	49,3	49,4	49,8	13,1	101	70	132	98,4	Média	65,68	Desvio Padrão	30,47
10.4 Tampa [µm]	71,5	37,1	100	49,6	38,6	49,4	72,1	50,5	50,5	48,1	101	48,5	Média	59,74	Desvio Padrão	20,85
10.5 [µm]													Média		Desvio Padrão	
10.6 [µm]													Média		Desvio Padrão	

Observações


Constata-se que o revestimento exterior que deveria ser composto por uma camada de primário e duas camadas de tinta de acabamento, apresenta uma espessura diminuta com valores médios da ordem dos 50 µm.

### 11. Produto de enchimento de irregularidades - Belzona 1111

11.1 Marca	Belzona	11.5 Base - Cor	Cinzento escuro	11.12 Tensão corte	19,2 MPa
11.2 Modelo	1111	11.6 Base - Densidade	2,7-2,9 g/cm³	11.13 Tensão rotura	22,3 MPa (20°C)
11.3 Tipo	Massa de 2 componentes	11.7 Agregador - Cor	Cinzento claro	11.14 "Shore D"	84
11.4 Função	Restituição de material	11.8 Agreg. - Densidade	1,64-1,70 g/cm³	11.15 Elasticidade	0,55% (20°C)
		11.9 Mistura	5:1 Peso ; 3:1 Volume	11.16 Módulo Young	9,526 MPa (20°C)
		11.10 Mistura-densidade	2,41-2,61 g/cm³	11.17 Resistência Impacto	37 J/m
		11.11 Mistura-COVs	0,05%/1,22g/L		

Certificações


**PRODUCT SPECIFICATION SHEET**  
**BELZONA 1111**  
FN10132



**POTABLE WATER APPROVAL**

**KC**  
Listed in Barrier Materials as epoxy resin-based waterproof and anticorrosion material, which has passed full test of sanitation and safety.

**WRAS**  
Listed in the UK Water Fittings Directory under "Materials which have passed full tests of effect on water quality".



Observações


Belzona 1111 (Super Metal) como todos os materiais Belzona para reparos de bombas, este compósito reparador com múltiplas finalidades oferece excelente resistência contra a corrosão e capacidade de moldar-se a contornos precisos, e pode ser aplicado em seções finas ou espessas numa operação. Cola-se fortemente a qualquer substrato metálico sem se retrair, expandir ou distorcer durante o processo de cura – uma vantagem significativa sobre os compósitos que contêm compostos orgânicos voláteis.

## 12. Produto de revestimento Belzona 1341

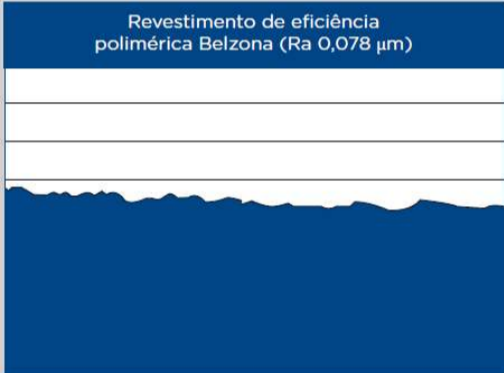
<b>12.1</b> Marca	Belzona	<b>12.5</b> Base - Cor	Massa azul	<b>12.12</b> Viscosidade	61 poise
<b>12.2</b> Modelo	1341 - SUPERMETALGLIDE	<b>12.6</b> Base - Densidade	1,63 g/cm <sup>3</sup>	<b>12.13</b> Tensão corte	26,2 MPa
<b>12.3</b> Tipo	Revestimento de 2 componentes	<b>12.7</b> Agregador - Cor	Basso	<b>12.14</b> Tensão rotura	31 MPa (20°C)
<b>12.4</b> Função	Proteção da corrosão	<b>12.8</b> Agreg. - Densidade	1,18 g/cm <sup>3</sup>	<b>12.15</b> "Shore D"	80
		<b>12.9</b> Mistura	100:70 Peso ; 1:1 Volume	<b>12.16</b> Elasticidade	0,79% (20°C)
		<b>12.10</b> Mistura-densidade	1,42 g/cm <sup>3</sup>	<b>12.17</b> Módulo Young	5,178 MPa (20°C)
		<b>12.11</b> Mistura-COVs	5 g/L	<b>12.18</b> Resistência Impacto	3,03 kJ/m <sup>2</sup>

Certificações

**PRODUCT SPECIFICATION SHEET**  
**BELZONA 1341**  
FN10139



Revestimento de eficiência polimérica Belzona (Ra 0,078 µm)




**POTABLE WATER APPROVAL**

**KC**  
Listed in Barrier Materials as epoxy resin-based waterproof and anticorrosion material, which has passed full test of sanitation and safety.

**WRAS**  
Listed in the UK Water Fittings Directory under "Materials which have passed full tests of effect on water quality".

**NSF/ANSI/CAN 61**  
Tested and certified by WQA against NSF/ANSI/CAN 61 and found to meet the extraction limits of NSF/ANSI/CAN 600. For product use restrictions, visit [www.wqa.org](http://www.wqa.org)



Observações

A linha de revestimentos duradouros de proteção é complementada pelo Belzona 1341 (Supermetalgilde), um sistema especial de revestimento de alto desempenho que pode melhorar a eficiência da bomba. Testes independentes demonstraram sua capacidade de reduzir turbulência e tensão superficial, graças à sua baixíssima rugosidade e às suas propriedades de autonivelantes e hidrofóbicas. Paralelamente o revestimento protegerá os componentes contra corrosões, significando que seu efeito imediato sobre o desempenho será mantido por um longo período, reduzindo o consumo de energia e os custos operacionais.

# AVALIAÇÃO DE BOMBA (montagem)

Data:	14/jun/23	Responsável:	Miguel Fernandes			
Período da intervenção	07/jun/23	a	21/jul/23	<b>Duração</b>	<b>44</b>	<b>dias</b>
Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125/315	S/N	22843004	
Est. Elev.	CURVACEIRAS	Destino	SODOS	Gr.	GRUPO 4	
Local	Oficinas EPAL (VFX e ASS)	Localidade	V.F. Xira e Asseiceira			

## SUMÁRIO EXECUTIVO

A intervenção de reabilitação desta bomba foi desenvolvida em parceria com a Belzona. A bomba foi desmontada na oficina da EPAL de V.F.X. sendo depois enviada a voluta e o impulsor para a Belzona que procedeu ao revestimento.

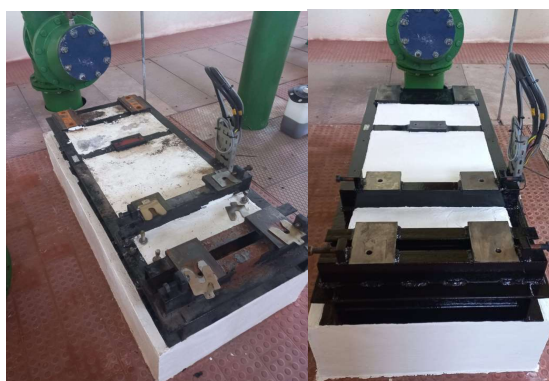
O planeamento e aprovisionamento dos materiais foi executado na oficina de V.F.X., que posteriormente executou a montagem e enviou a bomba para as instalações da EPAL na ETA da Asseiceira, para alinhamento, ensaio e colocação em serviço.

Esta bomba foi intervencionada após a entrega para normal exploração do grupo 2, sendo imperativo a sua entrega antes de 1-8-2023, dia de início das jornadas mundiais de juventude em Portugal.

As metodologias aplicadas permitem validar globalmente o impacto do revestimento da voluta da bomba e do impulsor.



## 1. Maciço e chassis



**Observações** O maciço foi limpo e revestido para proteção.

O chassis foi recuperado com remoção de zonas de oxidação, aplicação de um primário passivador e uma tinta de revestimento e proteção.

Foram também beneficiados os afinadores de posição do motor, que permitem a facilitam a realização com exatidão do processo de alinhamento.

## 2. Voluta



**Observações** A voluta foi decapada com jato de areia e protegida.  
Nas zonas em contacto com a água foi revestida com duas passagens manuais de Belzona 1341.  
O revestimento exterior também foi executado com duas demãos de tinta.

## 3. Impulsor

3.1 Material	Bronze
3.2 Equilibragem	Sim
3.3 Anel de desgaste	Sim
3.4 $D_{\text{anel}}$ [mm]	184
3.5 $D_{\text{exterior impulsor}}$ [mm]	372



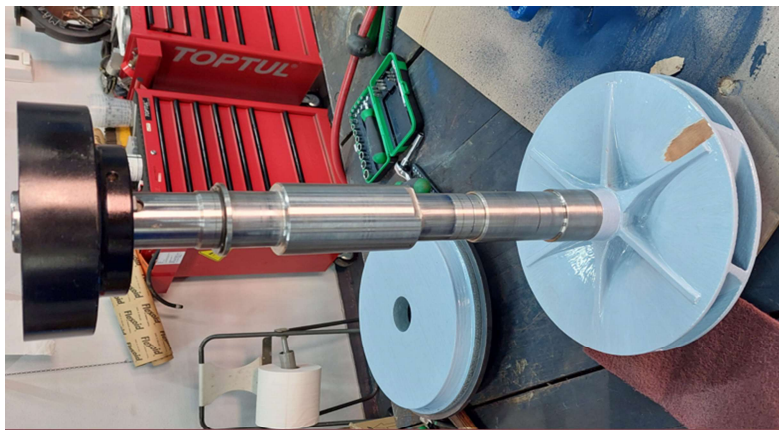
**Observações** Registadas algumas porosidades no impulsor que não são consideradas relevantes no seu desempenho.  
O anel de desgaste apresenta concentricidade e diâmetro constante.

## 4. Veio

4.1 Material	AISI 420
4.2 Camisas	Empanque



## Desenho



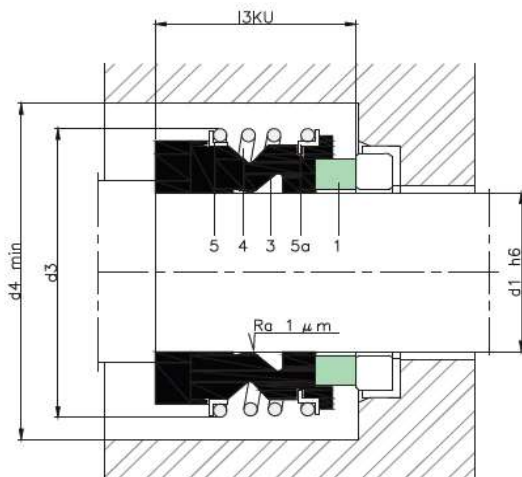
**Observações** Veio com camisa na zona do empanque.  
Conjunto rotórico após equilibragem.

## 5. Empanque

5.1 Tipo	Mecânico
5.2 Marca	Lidering
5.3 Modelo	PR/LRB17KU



## Desenho



### OPERATING LIMITS:

$d_1 = 10 \div 100 \text{ mm}$        $p = 12 \text{ kg/cm}^2$   
 $v = 10 \text{ m/s}$                $t = -15 \div +200^\circ\text{C} (*)$

(\*) The temperature resistance depends on the material of the secondary seals used.

The operating limits are defined by the PV factor which is determined for the sealing system characteristics and those of the application.

LEGENDA: 1 - Face rotativa (solidária com o veio) 3 - Estacionário 4 - Mola 5 - Anel  
5a - Anel

**Observações** <https://www.lidering.com/digital-catalog/120/>

O bom desempenho e a vida útil prolongada do empanque depende de: - Condição dos rolamentos ; - Deslocamento máximo do veio ; - Deflexão dinâmica do veio ; - Respeito pelas condições limite de operação ( $p < 12 \text{ kg/cm}^2$  ,  $v < 10 \text{ m/s}$ ).

## 6. Acoplamento

6.1 Tipo	Flexível
6.2 Marca	Flender
6.3 Modelo	N-EUPEX



**Observações** O acoplamento deste grupo foi substituído em 2019 quando foi substituído o motor.

## 7. Caixas e de rolamentos

7.1 Ref. Rolamento ataque

SKF 3309 A/C3

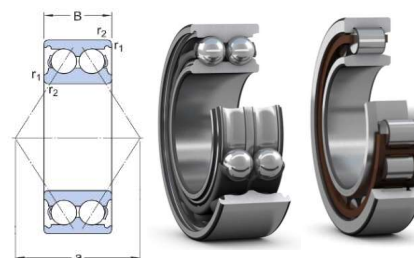
7.2 Ref. Rolamento oposto

SKF 23NU09

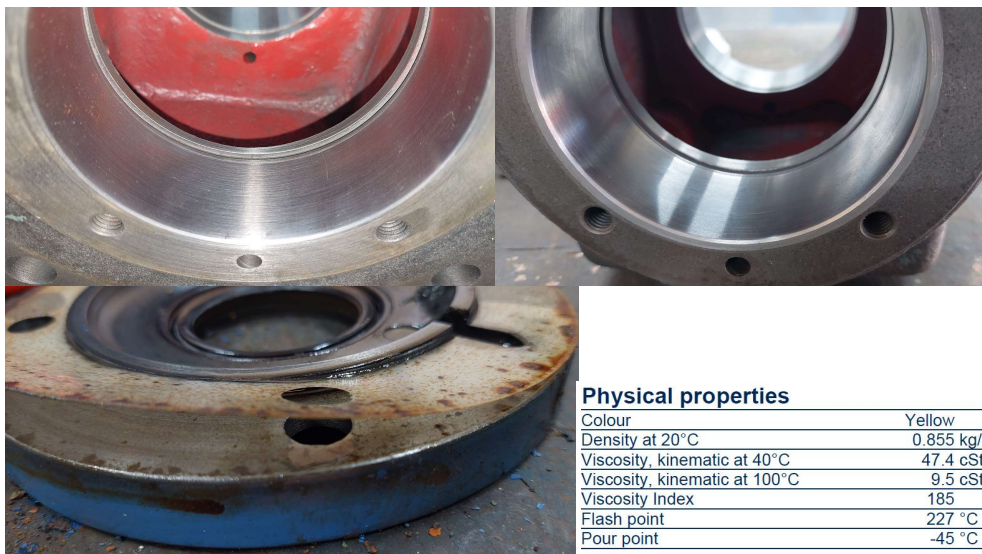
7.3 Lubrificante

Eurol Hykrol EXL ISO-VG 46

(Óleo ISO Classe VG 46 com  $IV \geq 105$ )



### Fotos



#### Physical properties

Colour	Yellow	
Density at 20°C	0.855 kg/l	ASTM D 4052
Viscosity, kinematic at 40°C	47.4 cSt	ASTM D 445
Viscosity, kinematic at 100°C	9.5 cSt	ASTM D 445
Viscosity Index	185	ASTM D 2270
Flash point	227 °C	ASTM D 93
Pour point	-45 °C	ASTM D 97

**Observações** Rolamento SKF 3309 A/C3 de dupla carreira de esferas de contacto angular.

Rolamento SKF 23NU09 de rolos cilindricos.

Substituído o copo Adams do compensador.

<b>Data</b>	21/jul/23		<b>Responsável</b>	Miguel Fernandes				
<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras		<b>Destino Elev.</b>	Res. Soudos	<b>Grupo</b>	4		
<b>MOTOR</b>	<b>Marca</b>	WEG	<b>Modelo</b>	W22 SUPER PREMIUM	<b>S/N</b>	1051123807	<b>P [kW]</b>	30
<b>BOMBA</b>	<b>Marca</b>	EFACEC	<b>Modelo</b>	CJG 125-315	<b>S/N</b>	22843004	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	209
							<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	29

**Tomando como referência a cota do eixo da bomba:**

DN Medidor de caudal	150	mm	Cota do sensor de pressão da aspiração	300	mm
DN Tubo aspiração	300	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da aspiração)	212,5	mm
DN Tubo compressão	200	mm	Cota do sensor de pressão da compressão	1270	mm
DN da conduta	450	mm	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão da compressão)	200	mm
Material conduta	FFD		Cota do sensor de pressão no coletor da compressão	1200	mm
Extensão da conduta (L)	3622	m	DN do tubo (na picagem p/ sensor de pressão coletor da comp.)	450	mm
			g (aceleração da gravidade)	9,81	m/s <sup>2</sup>

	Data ; Hora	P <sub>aspiração</sub> [bar]	P <sub>compressão</sub> [bar]	P <sub>instalação</sub> [bar]	N [rpm]	Q [m³/h]	P <sub>ele</sub> [kW]	V [V]	v <sub>med caud</sub> [m/s]
1.	21/07/2023 10:12	0,44	2,51	2,43	1489	299,0	25,8	406	4,700
2.	21/07/2023 10:18	0,43	2,82	2,36	1489	265,0	24,4	407	4,166
3.	21/07/2023 10:22	0,43	2,86	2,35	1490	255,0	24,0	407	4,008
4.	21/07/2023 10:26	0,42	3,03	2,31	1490	229,0	22,7	407	3,600
5.	21/07/2023 10:29	0,43	3,16	2,30	1491	206,0	21,6	408	3,238
6.	21/07/2023 10:33	0,43	3,40	2,26	1492	150,0	18,4	408	2,358
7.	21/07/2023 10:35	0,45	3,50	2,20	1494	100,0	15,5	409	1,572
8.	21/07/2023 10:38	0,45	3,54	2,15	1495	38,0	11,9	409	0,597
9.	21/07/2023 10:39	0,45	3,57	2,14	1496	0,0	10,5	410	0,000

Tabela 1 - Dados de ensaio

	Data ; Hora	$v_{\text{aspiração}}$ [m/s]	$v_{\text{compressão}}$ [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	$\Delta Z$ Diferença de cotas [m]	$\Delta P_{\text{(bomba - sensores pressão)}}$ [m]	Altura de Elevação [m]	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]
1 .	21/07/2023 10:12	2,3	2,6	0,08	21,11	1,57	0	22,76	18,54
2 .	21/07/2023 10:18	2,1	2,3	0,06	24,38	1,57	0	26,01	18,78
3 .	21/07/2023 10:22	2,0	2,3	0,06	24,79	1,57	0	26,41	18,35
4 .	21/07/2023 10:26	1,8	2,0	0,04	26,62	1,57	0	28,24	17,62
5 .	21/07/2023 10:29	1,6	1,8	0,04	27,85	1,57	0	29,45	16,53
6 .	21/07/2023 10:33	1,2	1,3	0,02	30,29	1,57	0	31,88	13,03
7 .	21/07/2023 10:35	0,8	0,9	0,01	31,11	1,57	1	33,69	9,18
8 .	21/07/2023 10:38	0,3	0,3	0,00	31,52	1,57	2	35,09	3,63
9 .	21/07/2023 10:39	0,0	0,0	0,00	31,82	1,57	3	36,39	0,00

Tabela 2 - Cálculos hidráulicos

	Data ; Hora	$P_{\text{ele}}$ [kW]	$\eta_{\text{motor}}$	$P_{\text{mec}}$ [kW]	$\eta_{\text{bomba}}$	$P_{\text{hidráulica}}$ [kW]	$\eta_{\text{grupo}}$	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$C_e$ [kWh/m <sup>3</sup> ]
1 .	21/07/2023 10:12	25,8	94,75%	24,45	75,85%	18,5	71,88%	0,379	0,086
2 .	21/07/2023 10:18	24,4	94,72%	23,11	81,27%	18,8	76,97%	0,354	0,092
3 .	21/07/2023 10:22	24,0	94,71%	22,74	80,71%	18,4	76,47%	0,356	0,094
4 .	21/07/2023 10:26	22,7	94,59%	21,48	82,03%	17,6	77,62%	0,351	0,099
5 .	21/07/2023 10:29	21,6	94,48%	20,41	81,00%	16,5	76,54%	0,356	0,105
6 .	21/07/2023 10:33	18,4	94,15%	17,33	75,20%	13,0	70,83%	0,385	0,123
7 .	21/07/2023 10:35	15,5	93,61%	14,51	63,27%	9,2	59,23%	0,460	0,155
8 .	21/07/2023 10:38	11,9	91,49%	10,89	33,37%	3,6	30,53%	0,892	0,313
9 .	21/07/2023 10:39	10,5	90,67%	9,52	0,00%	0,0	0,00%		

Tabela 3 - Cálculos de desempenho

	Data ; Hora	v <sub>COLETOR</sub> [m/s]	Altura cinética [m]	Altura Piezométrica [m]	ΔZ (Diferença de cotas) (coletor comp.) [m]	Altura da Instalação [m]	
1 .	21/07/2023 10:12	0,5	-0,27	20,30	1,50	21,53	
2 .	21/07/2023 10:18	0,5	-0,21	19,69	1,50	20,98	
3 .	21/07/2023 10:22	0,4	-0,19	19,58	1,50	20,89	
4 .	21/07/2023 10:26	0,4	-0,16	19,28	1,50	20,62	
5 .	21/07/2023 10:29	0,4	-0,13	19,07	1,50	20,45	
6 .	21/07/2023 10:33	0,3	-0,07	18,67	1,50	20,10	
7 .	21/07/2023 10:35	0,2	-0,03	17,85	1,50	19,32	
8 .	21/07/2023 10:38	0,1	0,00	17,34	1,50	18,84	
9 .	21/07/2023 10:39	0,0	0,00	17,24	1,50	18,74	

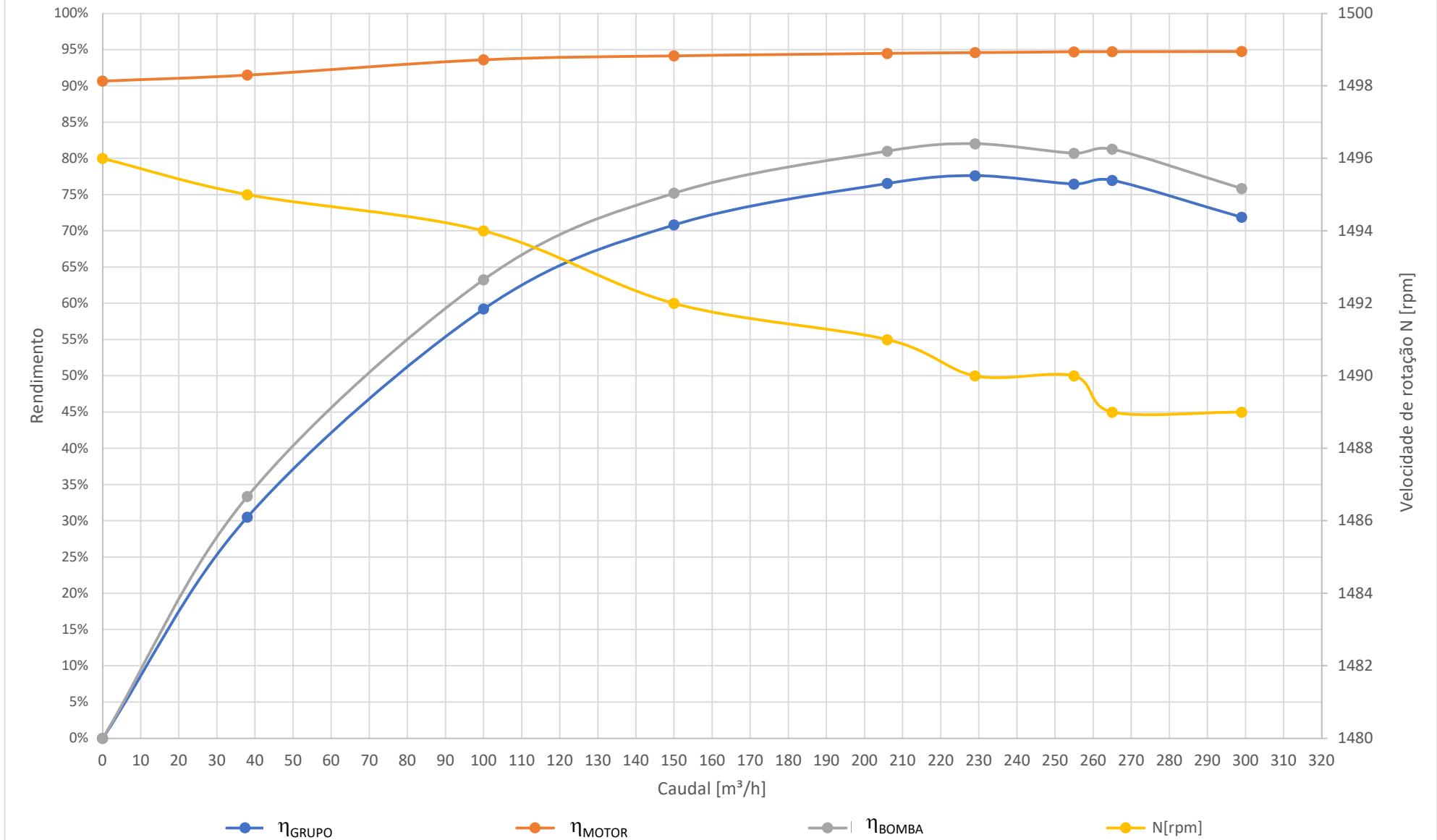
Tabela 4 - Cálculos da instalação

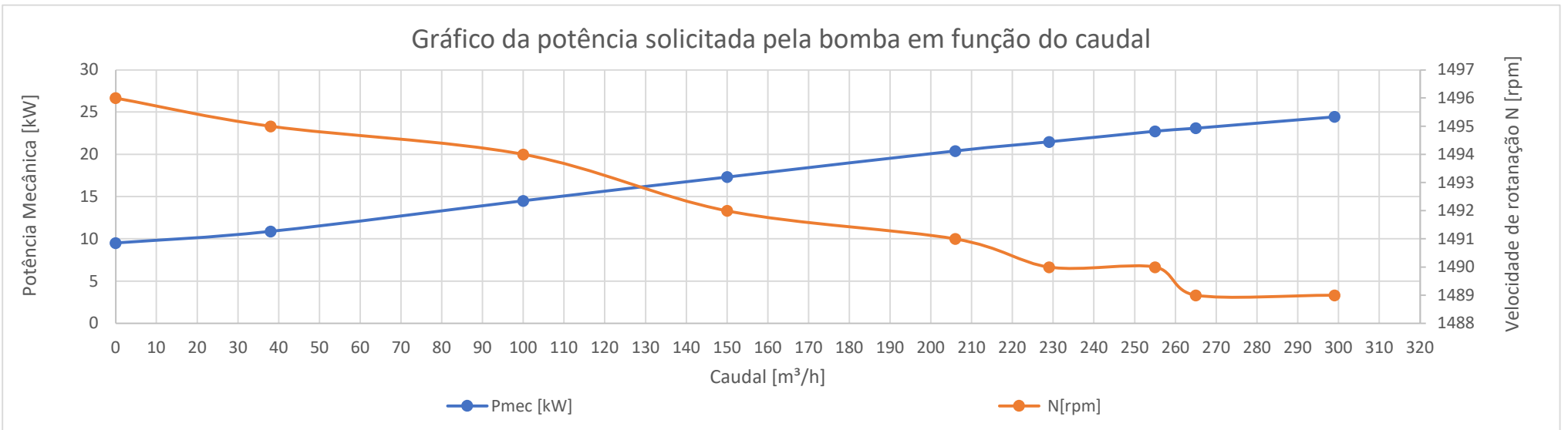
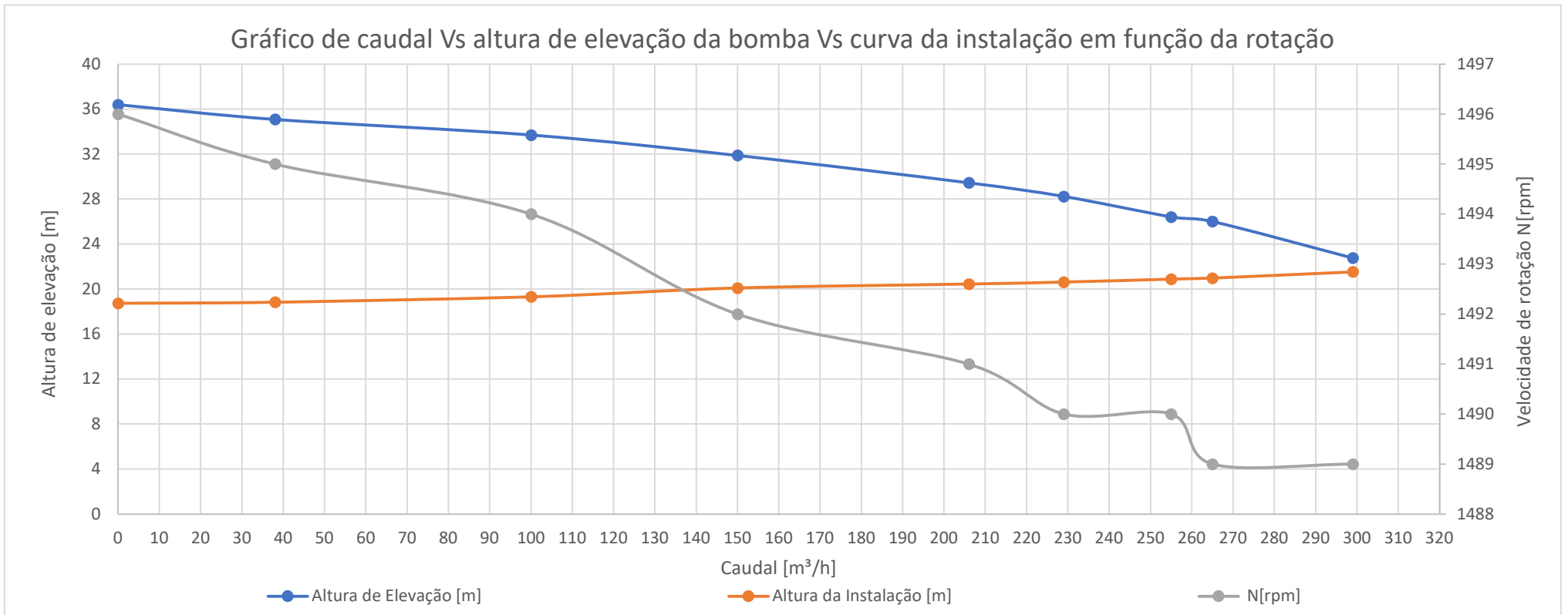
## INSTRUMENTAÇÃO

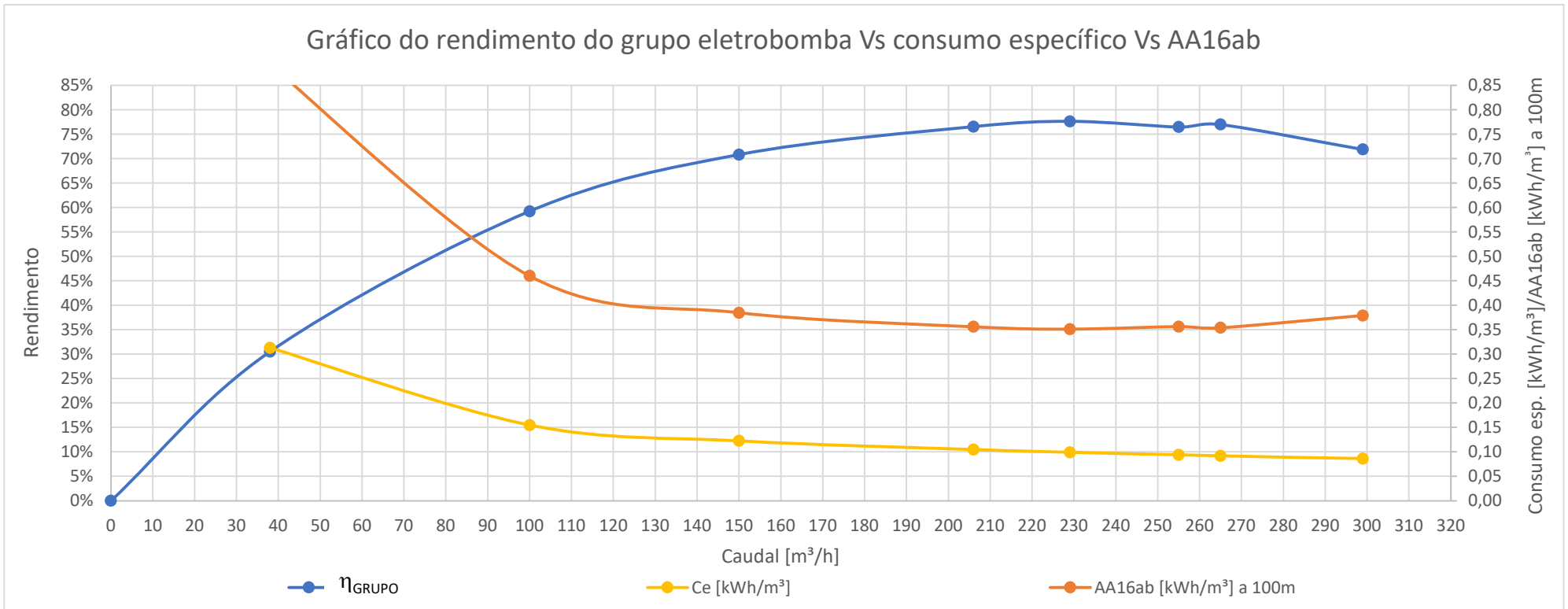
Instrumento	Marca	Modelo	Num. Série	Num. EPAL	Ano	Observações
Medidor de Caudal	ABB	Watermaster FEV	3K220000677947	47828	2019	
Analizador de Energia	FLUKE	438-II	43703311	42979	2018	
Sensor Pressão - Aspiração	BD SENSORS	DM 01	10759119	47533	2023	
Sensor Pressão - Compressão	BD SENSORS	DM 01	11669413	43872	2023	
Sensor Pressão - Instalação	ROSEMOUNT	1151 GP7 S12	9427468	40176	1991	
Tacómetro	SKF	TKRS 31 - Stroboscope	A8TBM78ABCDEFGH	49210	2023	

Tabela 5 - Instrumentos de suporte ao ensaio

Gráfico do rendimento do motor, da bomba e do grupo eletrobomba







## OBSERVAÇÕES

Um grupo eletrobomba de 30kW com mais de 30 anos e que consegue superar os 77% de rendimento, mesmo considerando que o motor foi substituído, é sem dúvida alguma um desempenho notável. O indicador ERSAR AA16ab atinge o seu valor mínimo a 0,351 kWh/m<sup>3</sup> a 100m.



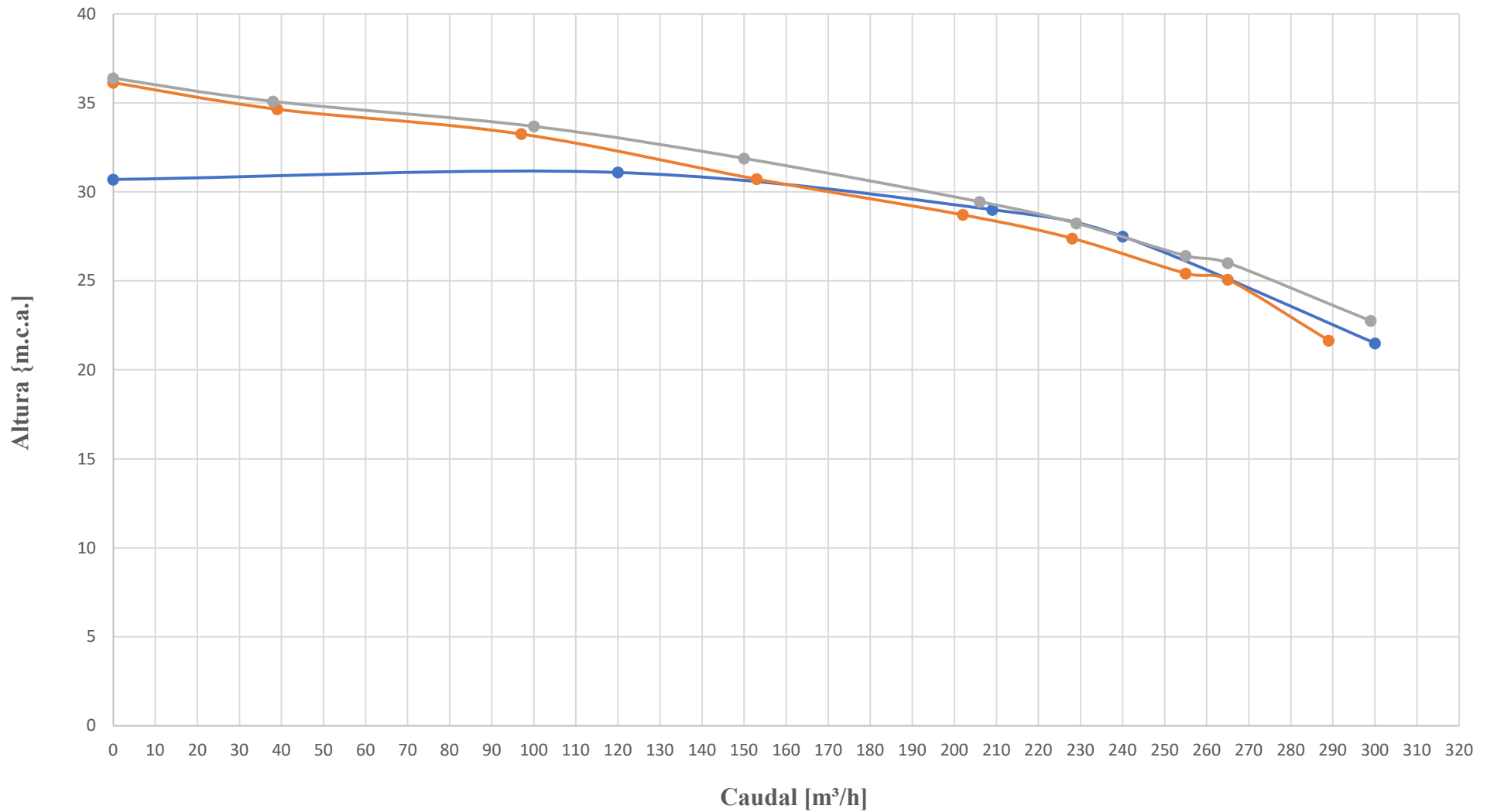


# ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE GRUPOS ELETROBOMBA COMPARATIVO HISTÓRICO

<b>Estação Elevatória</b>	Curvaceiras	Destino Elev.	Res. Soudos	Grupo	4			
<b>MOTOR</b>	Marca	WEG	Modelo	W22 S. Premium	S/N	1051123807	P [kW]	30
<b>BOMBA</b>	Marca	EFACEC	Modelo	CJG 125-315	S/N	22843004	Q <sub>n</sub> [m <sup>3</sup> /h]	209
							H <sub>n</sub> [m]	29

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]	Q [m <sup>3</sup> /h]	h [m.c.a.]
0	30,7	289	21,7	299	22,8				
120	31,1	265	25,1	265	26,0				
209	29	255	25,4	255	26,4				
240	27,5	228	27,4	229	28,2				
300	21,5	202	28,7	206	29,5				
		153	30,7	150	31,9				
		97	33,3	100	33,7				
		39	34,7	38	35,1				
		0	36,1	0	36,4				

### BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843004 : Caudal versus Altura



● ENSAIO - 0  
 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002  
 MOTOR EFACEC BF5

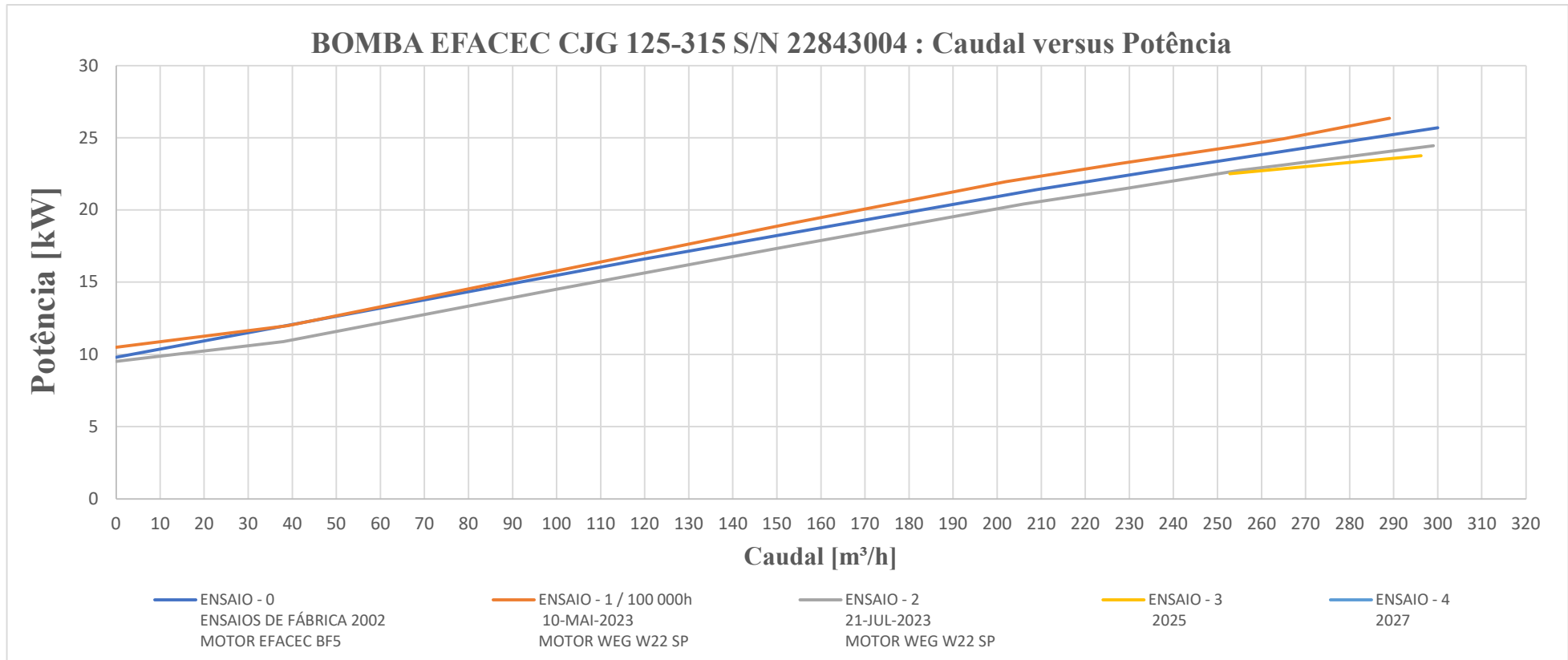
● ENSAIO - 1 / 100 000h  
 10-MAI-2023  
 MOTOR WEG W22 SP

● ENSAIO - 2  
 21-JUL-2023  
 MOTOR WEG W22 SP

● ENSAIO - 3  
 2025

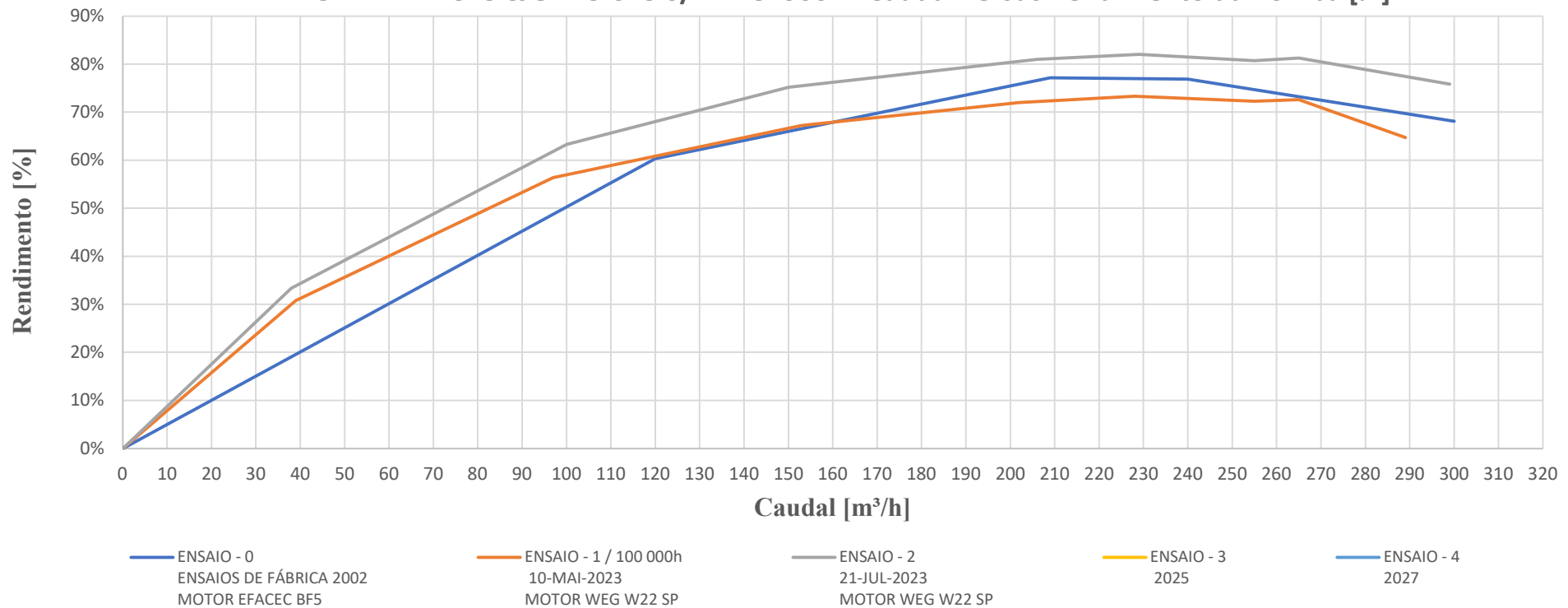
● ENSAIO - 4  
 2027

ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]
0	9,8	289	26,4	299	24,5	296,2	23,8		
120	16,6	265	24,9	265	23,1	252,8	22,5		
209	21,4	255	24,5	255	22,7				
240	22,9	228	23,2	229	21,5				
300	25,7	202	22,0	206	20,4				
		153	19,1	150	17,3				
		97	15,6	100	14,5				
		39	12,0	38	10,9				
		0	10,5	0	9,5				



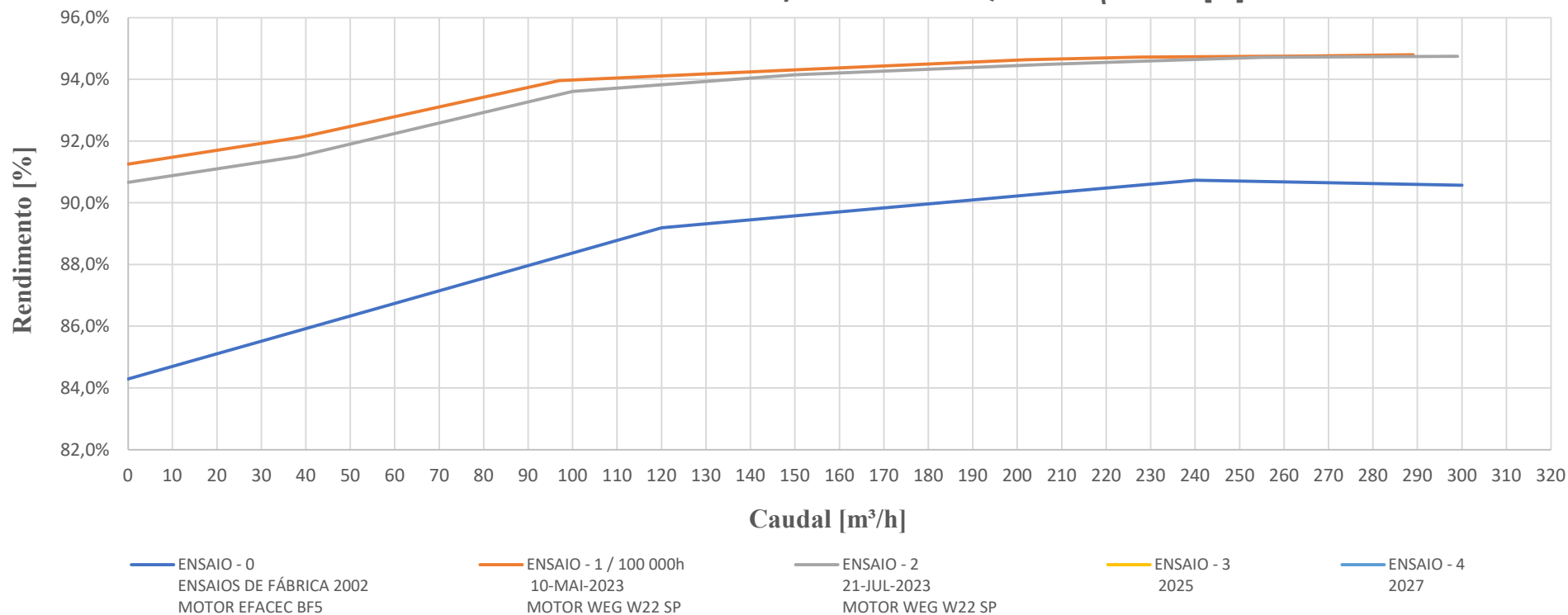
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	289	64,7%	299	75,8%				
120	60,3%	265	72,6%	265	81,3%				
209	77,2%	255	72,3%	255	80,7%				
240	76,9%	228	73,3%	229	82,0%				
300	68,1%	202	72,0%	206	81,0%				
		153	67,2%	150	75,2%				
		97	56,4%	100	63,3%				
		39	30,7%	38	33,4%				
		0	0,0%	0	0,0%				

**BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843004 : Caudal versus Rendimento da Bomba [%]**



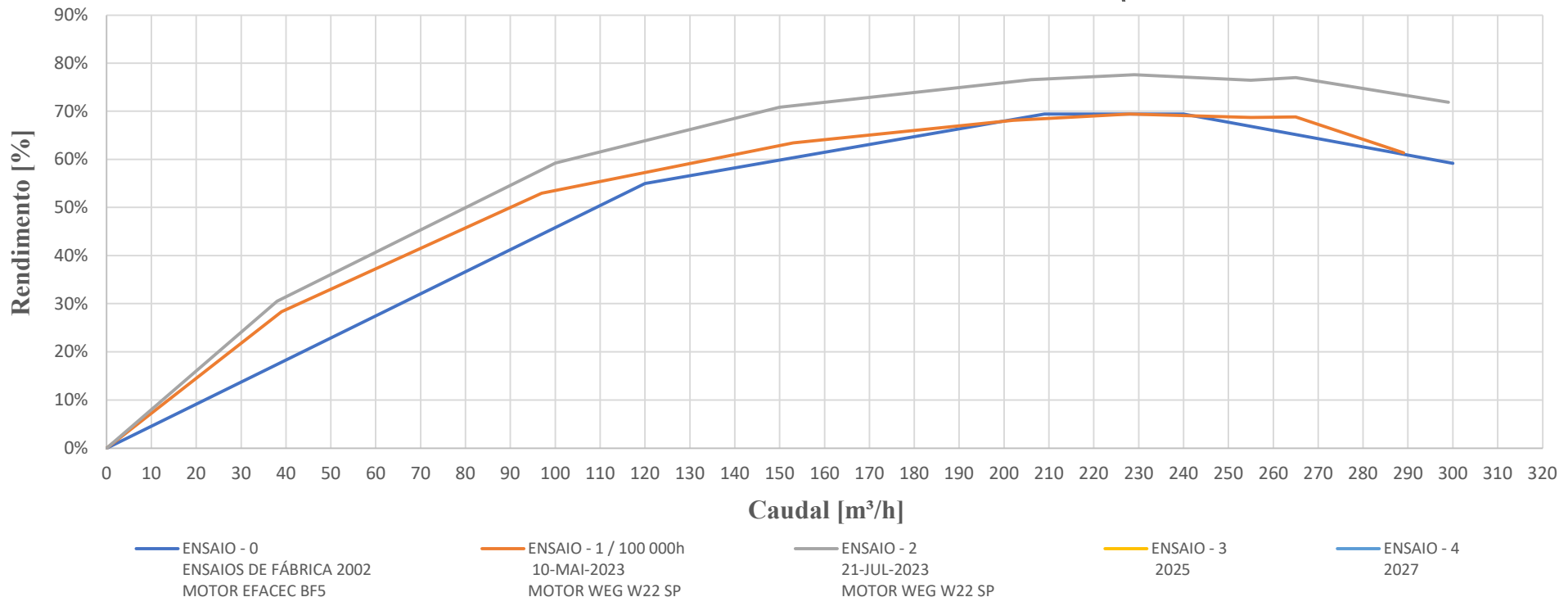
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	84,3%	289	94,8%	299	94,8%				
120	89,2%	265	94,8%	265	94,7%				
209	90,3%	255	94,8%	255	94,7%				
240	90,7%	228	94,7%	229	94,6%				
300	90,6%	202	94,6%	206	94,5%				
		153	94,3%	150	94,2%				
		97	94,0%	100	93,6%				
		39	92,1%	38	91,5%				
		0	91,3%	0	90,7%				

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843004 : Q versus η Motor [%]



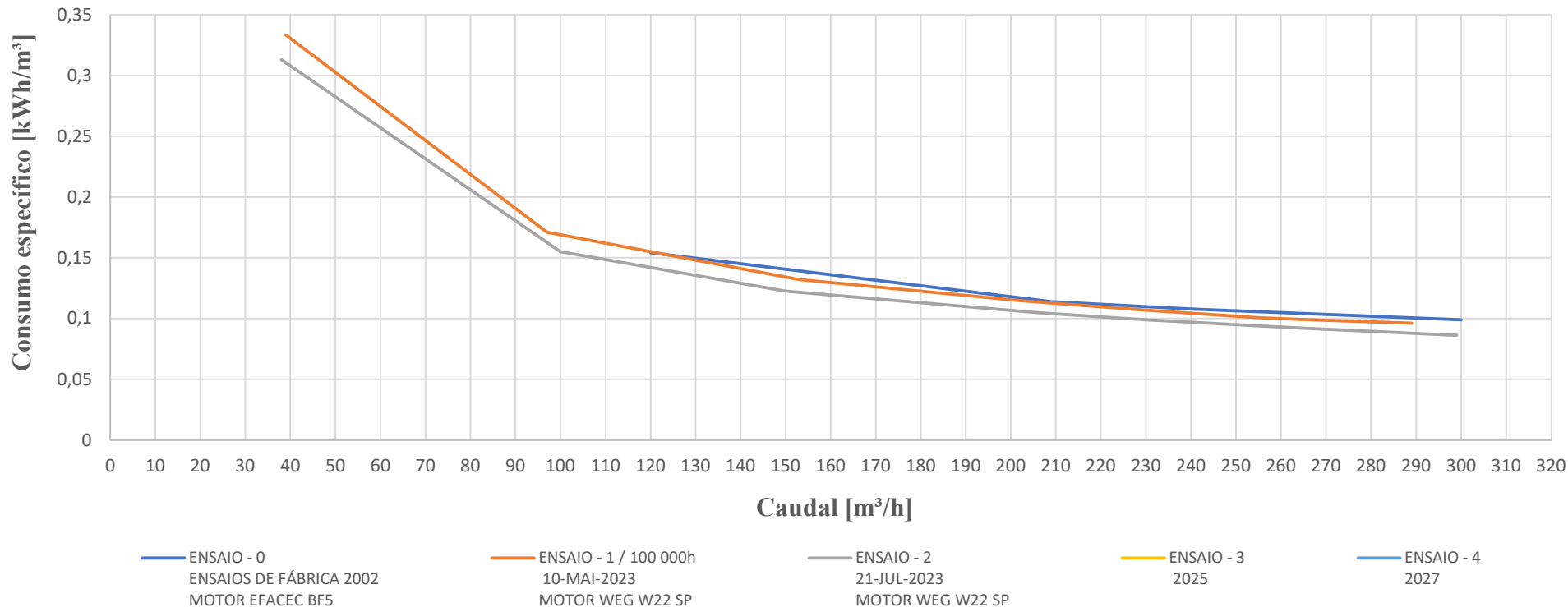
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,00%	289	61,3%	299	71,9%				
120	54,97%	265	68,8%	265	77,0%				
209	69,40%	255	68,7%	255	76,5%				
240	69,44%	228	69,5%	229	77,6%				
300	59,18%	202	68,1%	206	76,5%				
		153	63,4%	150	70,8%				
		97	53,0%	100	59,2%				
		39	28,3%	38	30,5%				
		0	0,0%	0	0,0%				

GRUPO COM BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843004 : Q versus η Grupo Eletrobomba [%]



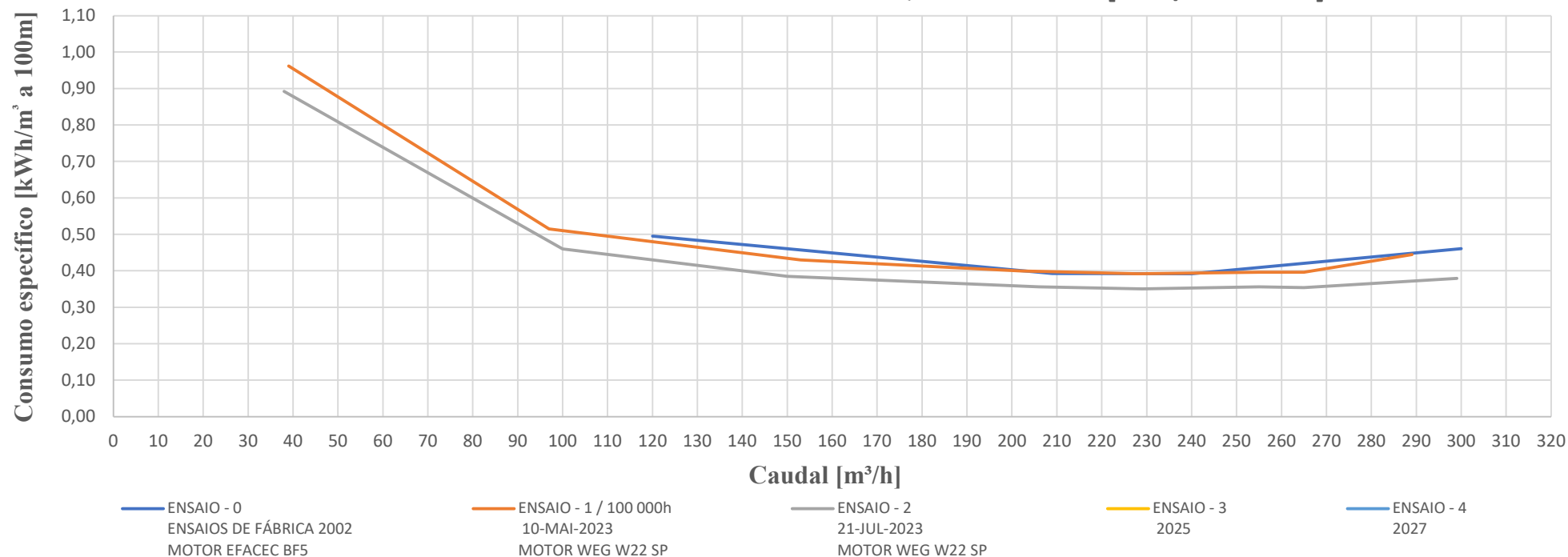
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]
0		289	0,10	299	0,09				
120	0,15	265	0,10	265	0,09				
209	0,11	255	0,10	255	0,09				
240	0,11	228	0,11	229	0,10				
300	0,10	202	0,11	206	0,10				
		153	0,13	150	0,12				
		97	0,17	100	0,16				
		39	0,33	38	0,31				
		0		0					

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q versus Consumo específico [kWh/m³]



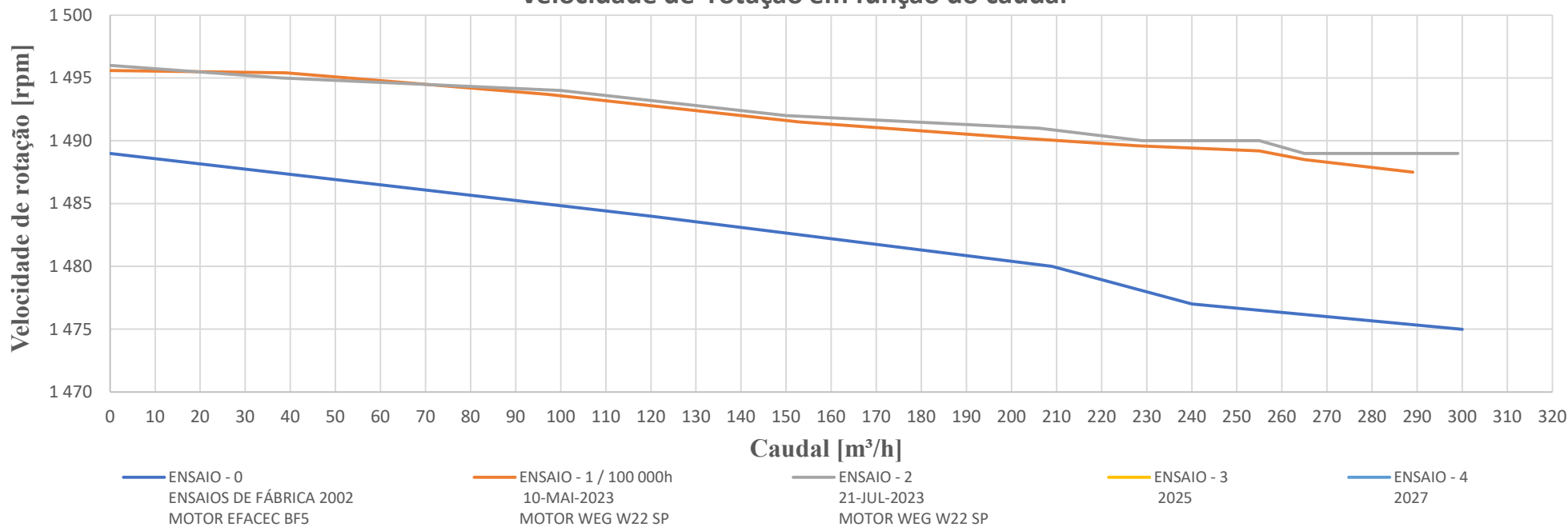
ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ] a 100m
0		289	0,44	299	0,38				
120	0,50	265	0,40	265	0,35				
209	0,39	255	0,40	255	0,36				
240	0,39	228	0,39	229	0,35				
300	0,46	202	0,40	206	0,36				
		153	0,43	150	0,38				
		97	0,51	100	0,46				
		39	0,96	38	0,89				
		0		0					

CONSUMO ESPECÍFICO DO GRUPO ELETROBOMBA: Q versus AA16ab [kWh/m<sup>3</sup> a 100m]



ENSAIO - 0 ENSAIOS DE FÁBRICA 2002 MOTOR EFACEC BF5		ENSAIO - 1 / 100 000h 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 2 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP		ENSAIO - 3 2025		ENSAIO - 4 2027	
Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>4</sup> ] a 100m
0	1489	289	1487,5	299	1489				
120	1484	265	1488,5	265	1489				
209	1480	255	1489,2	255	1490				
240	1477	228	1489,6	229	1490				
300	1475	202	1490,2	206	1491				
		153	1491,5	150	1492				
		97	1493,7	100	1494				
		39	1495,4	38	1495				
		0	1495,6	0	1496				

Velocidade de rotação em função do caudal



## **OBSERVAÇÕES**

Considerar em primeira análise a diferença de velocidades entre o motor EFACEC e o motor WEG. As diferenças podem ser da ordem da dezena, contudo não alteram globalmente os resultados.

O gráfico do caudal Vs altura manométrica é o que requer maior pormenor na avaliação, razão pela qual se optou por incluir essa curva.

Este grupo eletrobomba reflete um comportamento muito superior ao comportamento em fábrica. Este facto reflete numa primeira análise o motor WEG Super Premium que lhe confere um rendimento significativamente superior, face ao que estava disponível em 2002. Esta é a razão pelo facto deste grupo no ensaio de 10-05-2023 ter apresentado um rendimento semelhante ao de fábrica. Concretamente o rendimento que a bomba tinha perdido, tinha sido contrabalançado pela substituição do motor elétrico. A intervenção desta bomba incluiu para além do revestimento da voluta, também o revestimento do impulsor. O revestimento do impulsor justifica as melhorias adicionais que se constata existirem.

**Data** 19/set/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Curvaceiras **Destino Elev.** Res. Soudos **Grupo** 4

**MOTOR** **Marca** WEG **Modelo** W22 SUPER PREMIUM **S/N** 1051123807 **P [kW]** 30

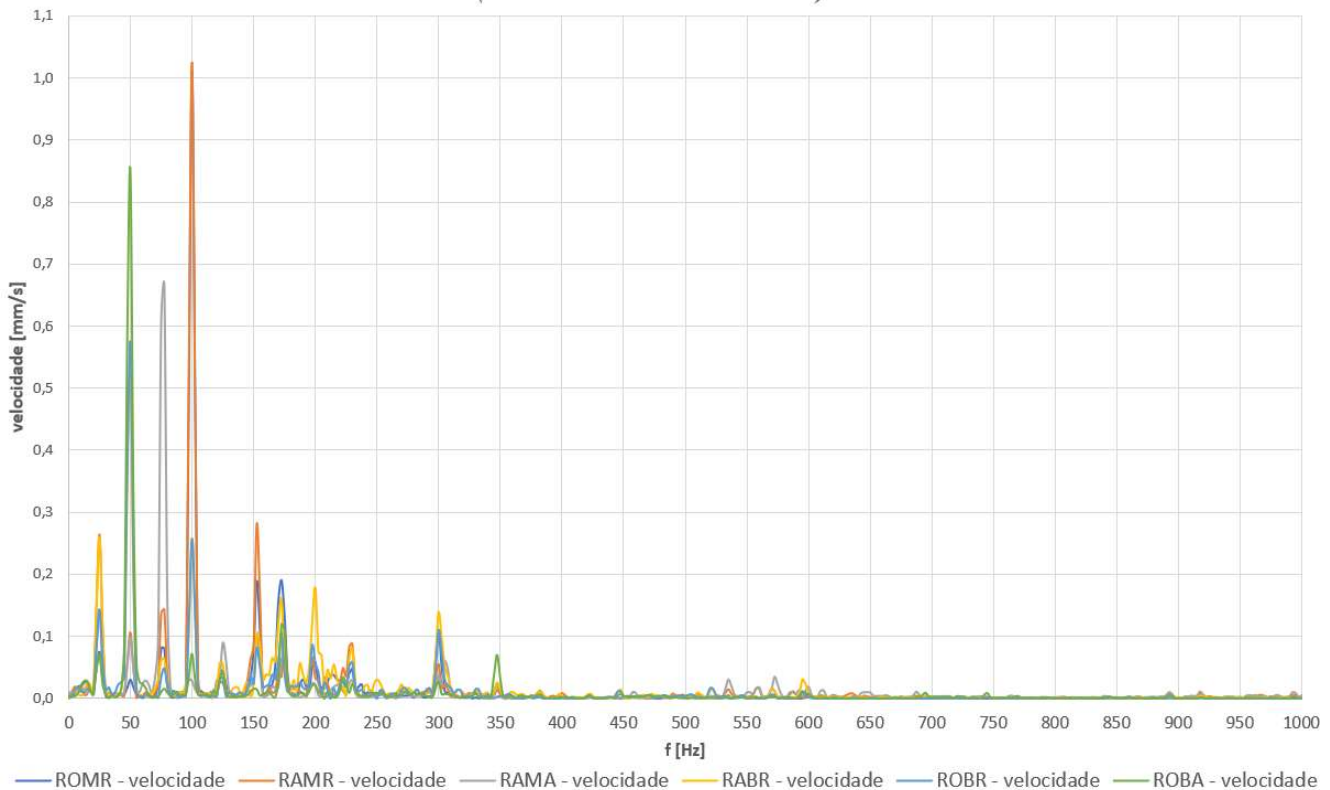
**BOMBA** **Marca** EFACEC **Modelo** CJG 125-315 **S/N** 22843004 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 209  
**H<sub>n</sub> [m]** 29

## 1. Velocidade de vibração

(ISO 10816-1) [mm/s]

RMS	ROMR	1,100	mm/s	RAMR	1,215	mm/s	RAMA	0,816	mm/s	0-2,3	2,3-4,5	4,5-7,1	≥7,1
		ROBR	0,655	mm/s	RABR	0,771	mm/s	RABA	1,117	mm/s	0-3,5	3,5-7,1	7,1-11

*MOTOR WEG W22 SP IE4 SN 1051123807 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843004*  
*Velocidade (EE CURVACEIRAS GRUPO 4) - 19SET2023*



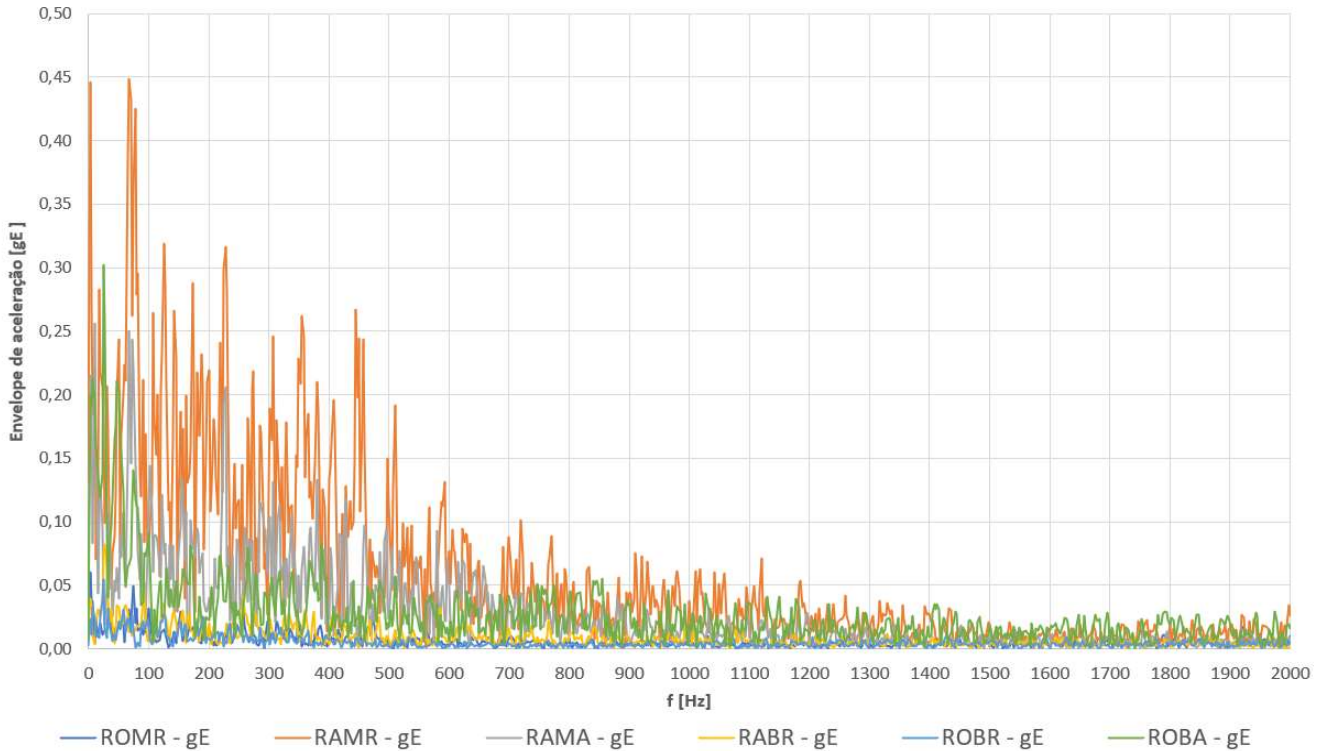
**Síglas:** ROMR - Rolamento oposto motor radial ; RAMR - Rolamento ataque motor radial ; RAMA ; Rolamento ataque motor axial ; RABR - Rolamento ataque bomba radial ; ROBR - Rolamento oposto bomba radial ; ROBA - Rolamento oposto bomba axial.

**Observações** As medidas de velocidade de vibração na bomba, foram efetuadas diretamente na caixa de rolamentos enquanto que no motor foram utilizadas as bases existentes para execução de medidas de vibração.  
Os valores RMS de velocidade de vibração registadas têm valor irrelevante.  
Portanto, ao nível de desequilíbrios, desalinhamentos ou folgas, não foram registados quaisquer indícios de possível causa de falha, que requeiram acompanhamento.

## 2. Envelope de aceleração

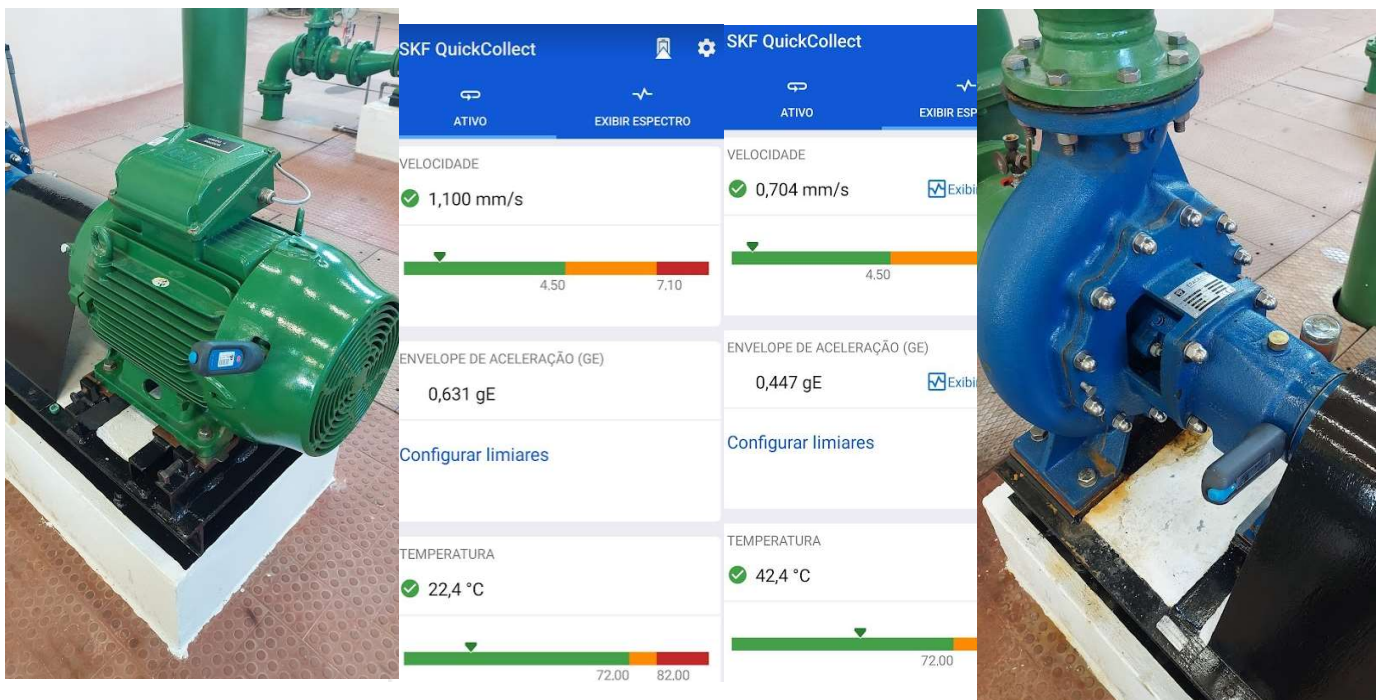
PICO A PICO	ROMR	0,631	gE	RAMR	6,117	gE	RAMA	2,838	gE	(SKF-Envelope de aceleração) [gE] 3000 rpm		
	ROBR	0,806	gE	RABR	0,567	gE	RABA	3,066	gE	<4	4-10	≥10

**MOTOR WEG W22 SPI E4 SN 1051123807 + BOMBA EFACEC CJG 125-315 SN 22843004 -  
Envelope de aceleração gE (EE CURVACEIRAS GRUPO 4) - 19SET2023**



**Observações** Este grupo tem valores globais de envelopes de aceleração que indiciam a existência de uma avaria no RAMR que obriga a um acompanhamento extraordinário. Esta situação foi diagnosticada após a colocação em serviço em 2019 destes motores WEG W22. Neste momento esta situação está sob vigilância, atendendo a que os motores já estiveram no reparador oficial da WEG, que comunicou não existir qualquer problema nos motores, alegando que o problema deverá ser da instalação.

## 3. Fotos do trabalho desenvolvido



**Data** 19/set/23 **Responsável** Miguel Fernandes

**Estação Elevatória** Curvaceiras **Destino Elev.** Res. Soudos **Grupo** 4

**MOTOR** **Marca** WEG **Modelo** W22 SUPER PREMIUM **S/N** 1051123807 **P [kW]** 30

**BOMBA** **Marca** EFACEC **Modelo** CJG 125-315 **S/N** 22843004 **Q<sub>n</sub> [m<sup>3</sup>/h]** 209  
**H<sub>n</sub> [m]** 29

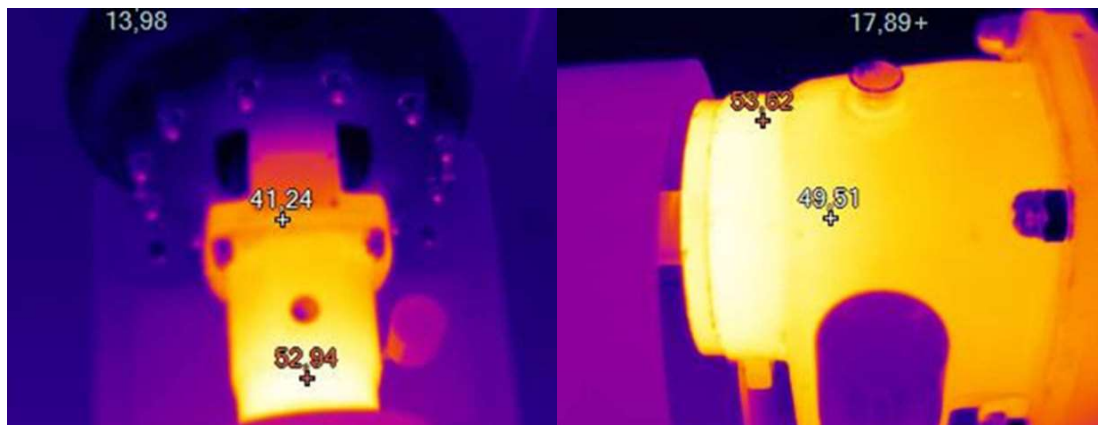
**Hora de inspeção** 15h30 - 16h00 **Estabilização térmica** 3h **Regime de carga** 2/3 da carga nominal

## 1. Bomba - Caixa de rolamentos

1.1 RA 53 °C SKF 3309 A/C3 ISO VG46 IV≥105 2000h

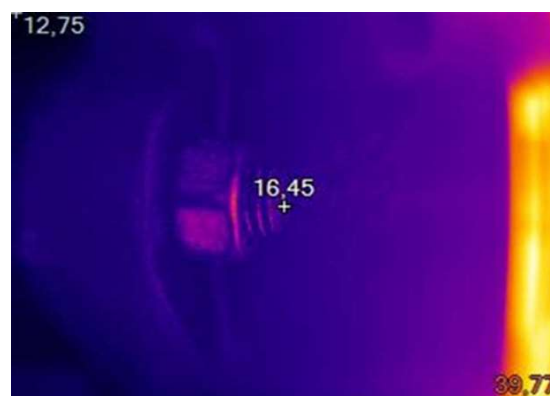
1.2 ROA 42 °C SKF 23NU09 ISO VG46 IV≥105 2000h

<70°C	70-90°C	>90°C
<70°C	70-90°C	>90°C



**Observações** Temperaturas normais de funcionamento quer para os rolamentos, quer para o lubrificante.

## 2. Bomba - empanque (caixa e isolamento)



**Observações** Sem registo de perda de água nem de aquecimento.

### 3. Motor - carcaça e cablagem

3.1 Cabo de alimentação 27,5 °C (Isolamento PVC T<sub>máx</sub> < 70°C)

3.2 Carcaça do motor 47 °C

<60°C	60-70°C	>70°C
<60°C	60-70°C	>70°C

Termistor (PTC) num enrolamento para proteger o motor quando a temperatura atingir os 155 °C



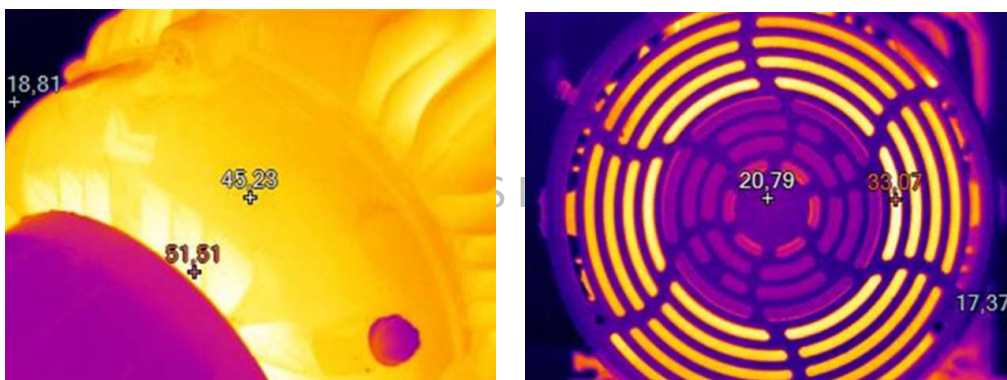
**Observações** Valores normais de temperatura.

### 4. Motor - rolamento ataque e oposto

4.1 RA 57 °C 6312 ZZ C3 (selado - sem relubrificação)

4.2 ROA 53 °C 6212 ZZ C3 (selado - sem relubrificação)

<70°C	70-90°C	>90°C
<70°C	70-90°C	>90°C



**Observações** A temperatura do lado do ataque foi corrigida porque a proteção do acoplamento não permitiu fazer a medição diretamente na zona do rolamento.  
A temperatura do lado oposto ao ataque foi corrigida atendendo ao efeito da ventilação forçada para arrefecimento da carcaça do motor.  
As temperaturas ajustadas encontram-se no intervalo normal de funcionamento.

*Em anexo a este registo de inspeção está um relatório elaborado no software Fluke connect com alguma informação adicional sobre a avaliação termográfica.*

# **EPAL/ISEL**

## **ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE CURVACEIRAS**

### **AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA DO GRUPO 4 DE ELEVAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE SUDOS**

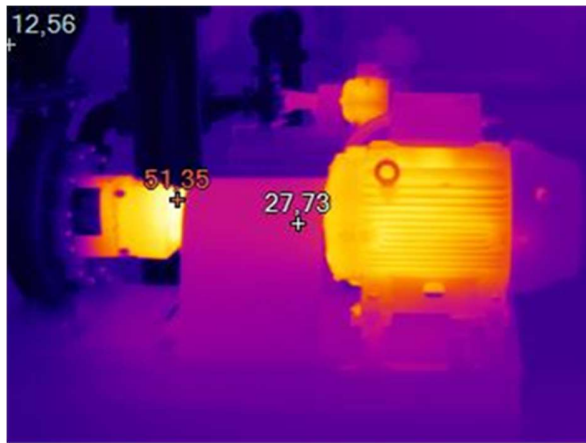
**Sumário:** Em termos de procedimento de ensaio, o grupo eletrobomba entrou em exploração às 12h30, tendo-se aguardado 3h pela sua estabilização térmica. Sendo um grupo de 30kW, a trabalhar a cerca de 2/3 da carga, foi possível recolher informação termográfica representativa da sua condição de funcionamento. As zonas avaliadas são as zonas dos rolamentos na bomba e no motor, havendo ainda foco na carcaça do motor, onde existem perdas térmicas resistivas no estator e no rotor.

## ÍNDICE

EECURV G4_5.is2 .....	3
EECURV G4 B EMPANQUE_1.is2 .....	4
EECURV G4 M ROL ATAQUE_2.is2 .....	5
EECURV G4 M CABOS.is2 .....	6
EECURV G4 M CX LIG_2.is2 .....	7
EECURV G4 M CX LIG_1.is2 .....	8
EECURV G4 M CARCAÇA_3.is2 .....	9
EECURV G4 M CARCAÇA_1.is2 .....	10
EECURV G4 M OPOSTO_4.is2 .....	11
EECURV G4 B CX ROLAMENTOS_2.is2 .....	12
EECURV G4 B CX ROLAMENTOS_1.is2 .....	13
EECURV G4 B CX ROLAMENTOS_3.is2 .....	14

## EECURV G4\_5.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

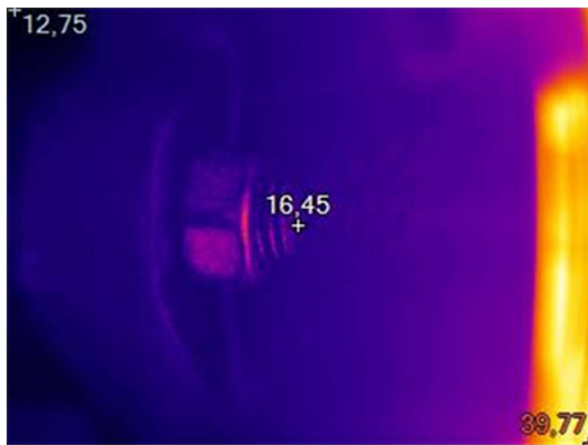
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	12,56 °C até 51,35 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	27,7 °C	27,7 °C	27,7 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	51,4 °C	51,4 °C	51,4 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	12,6 °C	12,6 °C	12,6 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 B EMPANQUE\_1.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

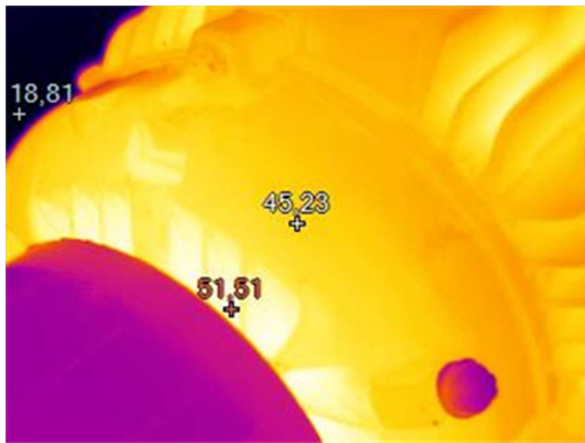
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	12,75 °C até 39,77 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	16,4 °C	16,4 °C	16,4 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	39,8 °C	39,8 °C	39,8 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	12,7 °C	12,7 °C	12,7 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 M ROL ATAQUE\_2.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

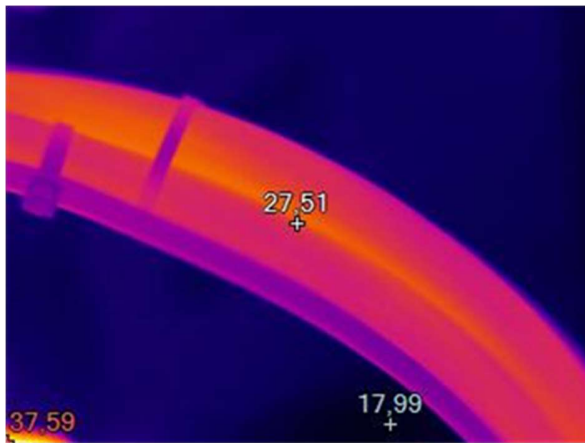
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	18,81 °C até 51,51 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	45,2 °C	45,2 °C	45,2 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	51,5 °C	51,5 °C	51,5 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	18,8 °C	18,8 °C	18,8 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 M CABOS.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,99 °C até 37,59 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	27,5 °C	27,5 °C	27,5 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	37,6 °C	37,6 °C	37,6 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	18,0 °C	18,0 °C	18,0 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 M CX LIG\_2.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	18,84 °C até 49,65 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	29,9 °C	29,9 °C	29,9 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	49,6 °C	49,6 °C	49,6 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	18,8 °C	18,8 °C	18,8 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 M CX LIG\_1.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

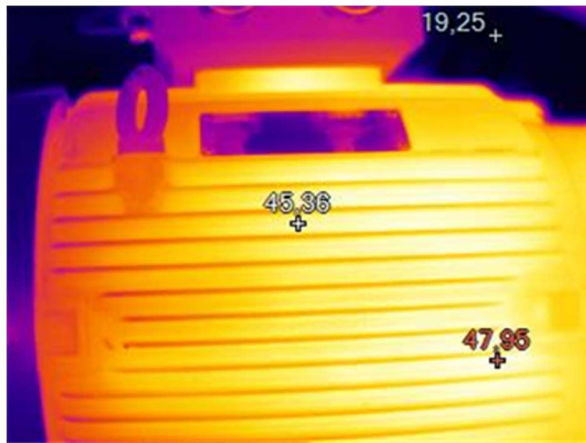
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	16,87 °C até 51,10 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	31,5 °C	31,5 °C	31,5 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	51,1 °C	51,1 °C	51,1 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	16,9 °C	16,9 °C	16,9 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 M CARÇAÇA\_3.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	19,25 °C até 47,95 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	45,4 °C	45,4 °C	45,4 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	47,9 °C	47,9 °C	47,9 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	19,3 °C	19,3 °C	19,3 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 M CARÇAÇA\_1.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

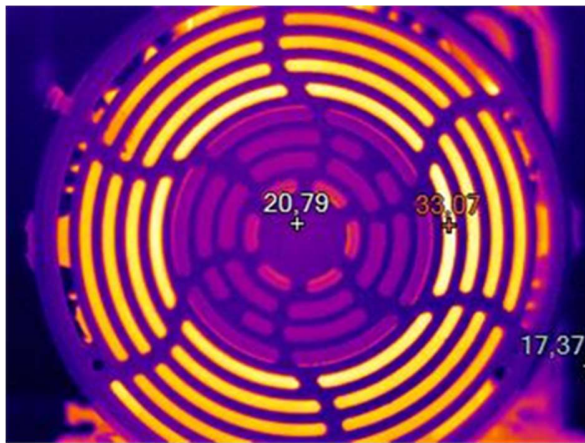
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	18,11 °C até 48,24 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	47,2 °C	47,2 °C	47,2 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	48,2 °C	48,2 °C	48,2 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	18,1 °C	18,1 °C	18,1 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 M OPOSTO\_4.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

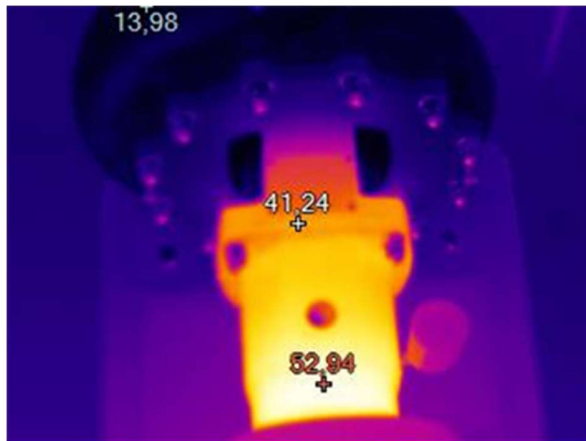
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	17,37 °C até 33,07 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	20,8 °C	20,8 °C	20,8 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	33,1 °C	33,1 °C	33,1 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	17,4 °C	17,4 °C	17,4 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 B CX ROLAMENTOS\_2.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

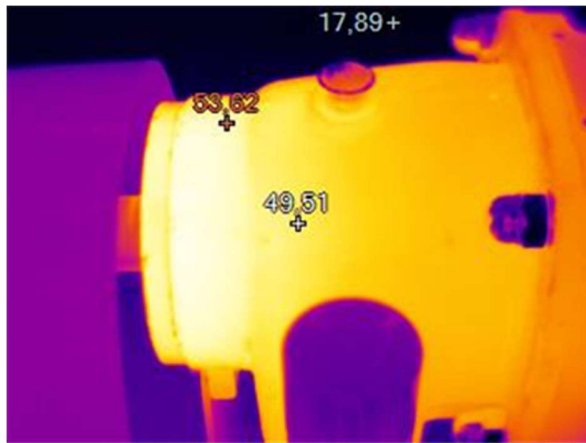
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	13,98 °C até 52,94 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	41,2 °C	41,2 °C	41,2 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	52,9 °C	52,9 °C	52,9 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	14,0 °C	14,0 °C	14,0 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 B CX ROLAMENTOS\_1.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,1 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

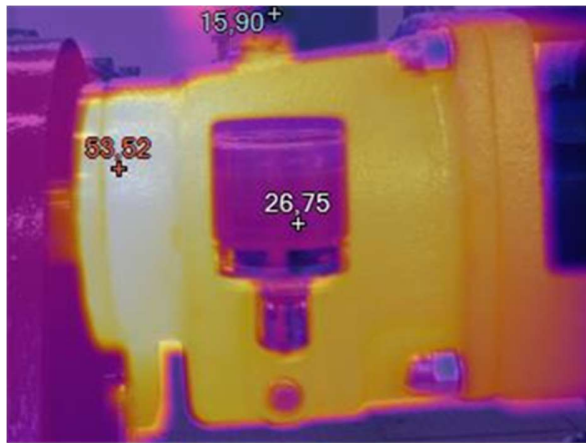
<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,1 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,0 °C até 100,0 °C
<b>Image Range</b>	17,9 °C até 53,6 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	49,5 °C	49,5 °C	49,5 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	53,6 °C	53,6 °C	53,6 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	17,9 °C	17,9 °C	17,9 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

## EECURV G4 B CX ROLAMENTOS\_3.is2

<b>Load (%)</b>		<b>Max Rated Load</b>	
<b>Emissivity</b>	0,86	<b>Reflected Temperature</b>	24,10 °C
<b>Camera Manufacturer</b>	Fluke Corporation	<b>Camera</b>	Ti300+



### Image Info

<b>Emissivity</b>	0,86
<b>Background Temperature</b>	24,10 °C
<b>Calibration Range</b>	-20,00 °C até 100,00 °C
<b>Image Range</b>	15,90 °C até 53,52 °C
<b>IR Sensor Size</b>	320X240
<b>Camera Serial Number</b>	Ti300+-20080078
<b>DSP Version</b>	6.3.60

### Marker Info

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	Emissivity	BG Temp	Std.Dev	Delta-T
Ponto central	26,7 °C	26,7 °C	26,7 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Quente	53,5 °C	53,5 °C	53,5 °C	0,86	24,1 °C	0,00	
Frio	15,9 °C	15,9 °C	15,9 °C	0,86	24,1 °C	0,00	

**Conclusões: Os valores de temperatura registados são normais para a tipologia de máquinas em avaliação, regime de carga e temperatura ambiente. Do ponto de vista termográfico, a avaliação da condição de funcionamento deste grupo eletrobomba, ficou validado a sua adequação para normal exploração.**

## ANEXO I Comparação de resultados obtidos com as intervenções

- i. INSP 03-3 – COMPARATIVO DE DESEMPENHO DE GRUPOS ELETROBOMBAS
- ii. INSP 05-2 – AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE REVESTIMENTOS DE BOMBAS

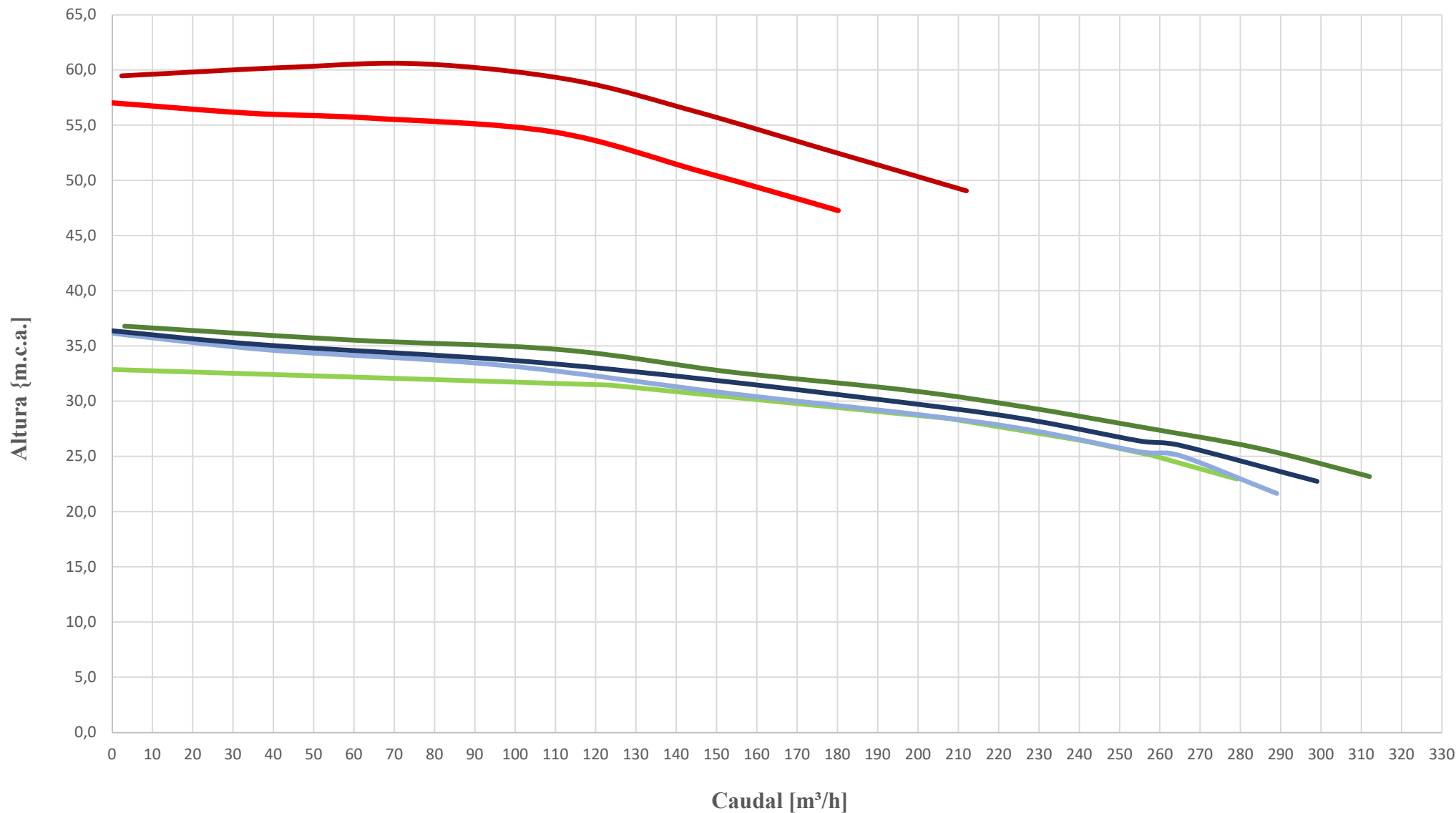
# INTERCOMPARAÇÃO DE RESULTADO DE INTERVENÇÕES

## ABRIL-AGOSTO (2023)

<b>Estação Elevatória</b>	<b>Madeiras</b>	<b>Destino Elev.</b>	<b>Res. Alt. D. Luís</b>	<b>Grupo</b>	<b>2</b>					
<b>MOTOR</b>	Marca <b>WEG</b>	<b>Modelo</b>	<b>W22 SP</b>	S/N	<b>17279068</b>	<b>P [kW]</b>	<b>45</b>			
<b>BOMBA</b>	Marca <b>RITZ</b>	<b>Modelo</b>	<b>100-400.2F</b>	S/N	<b>2321261 02</b>	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	<b>187,5</b>	<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	<b>50,6</b>	
<b>Estação Elevatória</b>	<b>Curvaceiras</b>	<b>Destino Elev.</b>	<b>Res. Soudos</b>	<b>Grupo</b>	<b>2</b>					
<b>MOTOR</b>	Marca <b>WEG</b>	<b>Modelo</b>	<b>W22 SP</b>	S/N	<b>1051123805</b>	<b>P [kW]</b>	<b>30</b>			
<b>BOMBA</b>	Marca <b>EFACEC</b>	<b>Modelo</b>	<b>CJG 125-315</b>	S/N	<b>22843002</b>	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	<b>209</b>	<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	<b>29</b>	
<b>Estação Elevatória</b>	<b>Curvaceiras</b>	<b>Destino Elev.</b>	<b>Res. Soudos</b>	<b>Grupo</b>	<b>4</b>					
<b>MOTOR</b>	Marca <b>WEG</b>	<b>Modelo</b>	<b>W22 SP</b>	S/N	<b>1051123807</b>	<b>P [kW]</b>	<b>30</b>			
<b>BOMBA</b>	Marca <b>EFACEC</b>	<b>Modelo</b>	<b>CJG 125-315</b>	S/N	<b>22843004</b>	<b>Q<sub>n</sub> [m³/h]</b>	<b>209</b>	<b>H<sub>n</sub> [m]</b>	<b>29</b>	

MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]	Q [m³/h]	h [m.c.a.]
0	57,0	212	49,1	279	23,0	312	23,2	289	21,7	299	22,8
34	56,1	177	52,8	258	25,1	284	25,8	265	25,1	265	26,0
63	55,7	145	56,2	241	26,4	255	27,7	255	25,4	255	26,4
109	54,4	114	59,1	208	28,4	227	29,5	228	27,4	229	28,2
146	50,8	77	60,6	123	31,5	198	31,0	202	28,7	206	29,5
180	47,3	45	60,3	0	32,9	154	32,6	153	30,7	150	31,9
		2	59,5			111	34,7	97	33,3	100	33,7
						59	35,6	39	34,7	38	35,1
						3	36,8	0	36,1	0	36,4

## INTERCOMPARAÇÃO: Caudal Vs Altura



MADEIRAS G2  
3-ABR-2023  
MOTOR EFACEC BF5

MADEIRAS G2  
04-AGO-2023  
MOTOR WEG W22 SP

CURVACEIRAS G2  
3-ABR-2023  
MOTOR WEG W22 SP

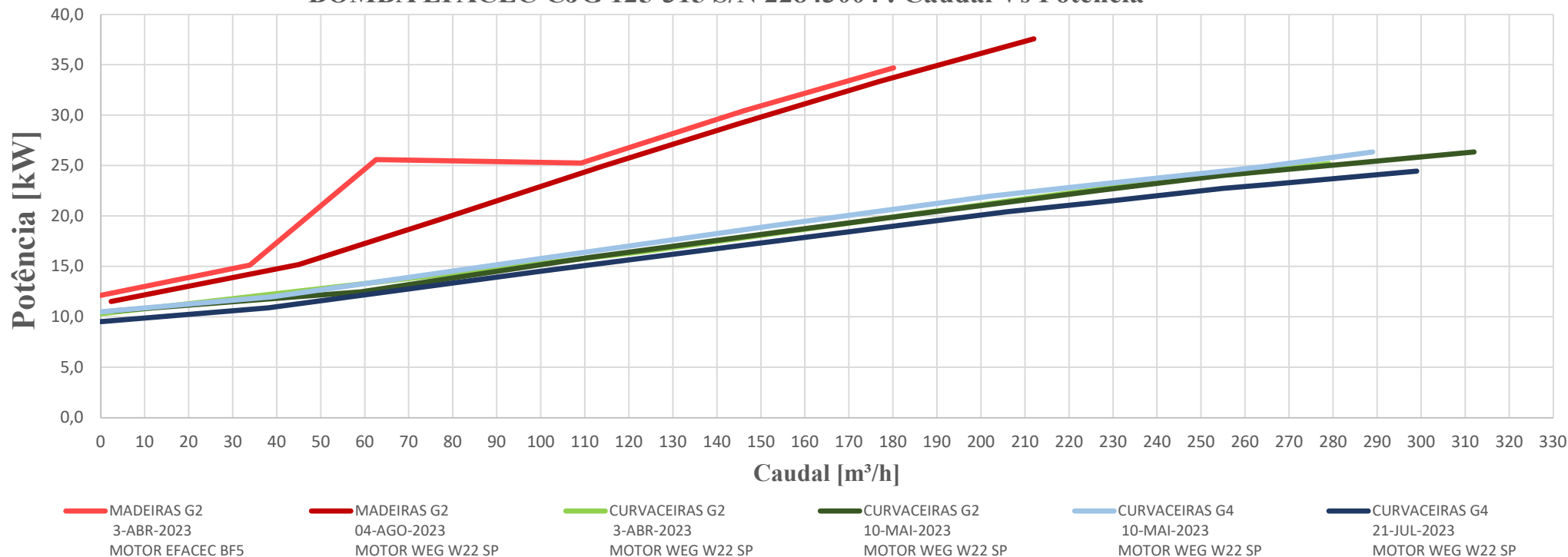
CURVACEIRAS G2  
10-MAI-2023  
MOTOR WEG W22 SP

CURVACEIRAS G4  
10-MAI-2023  
MOTOR WEG W22 SP

CURVACEIRAS G4  
21-JUL-2023  
MOTOR WEG W22 SP

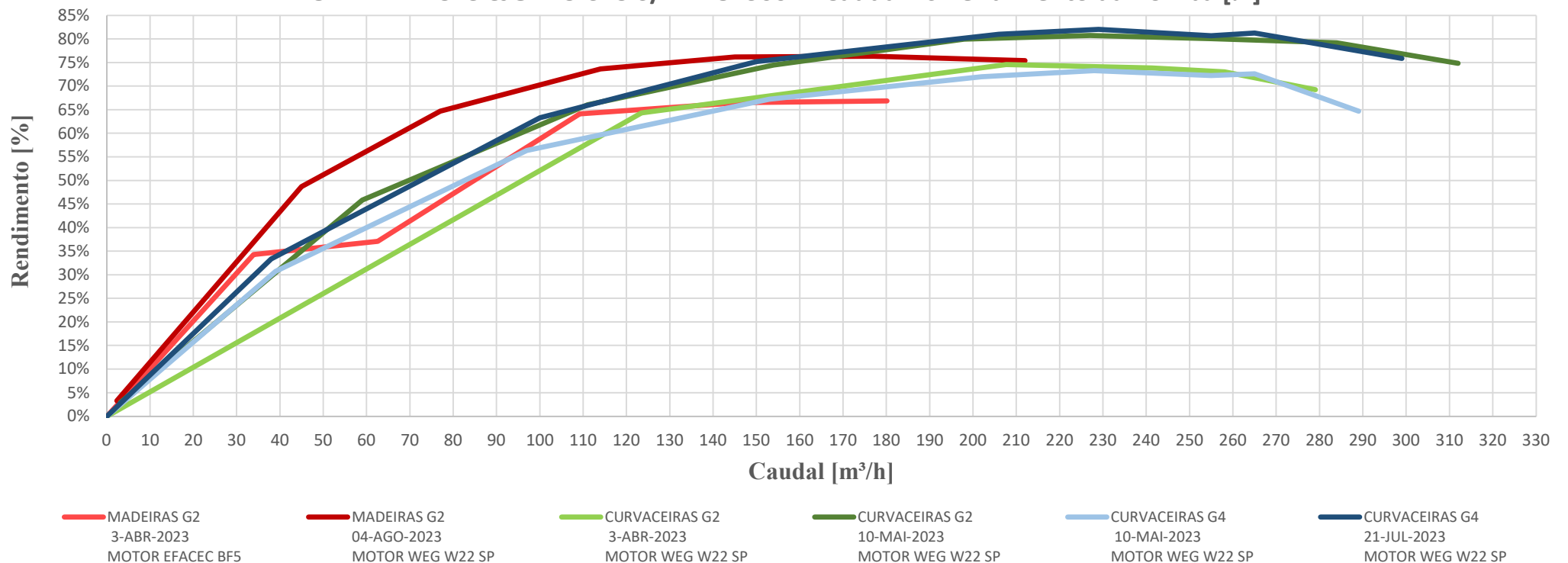
MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]	Q [m³/h]	P [kW]
0	12,2	212	37,6	279	25,2	312	26,4	289	26,4	299	24,5
34	15,1	177	33,4	258	24,2	284	25,2	265	24,9	265	23,1
63	25,6	145	29,2	241	23,5	255	24,0	255	24,5	255	22,7
109	25,3	114	24,9	208	21,6	227	22,6	228	23,2	229	21,5
146	30,5	77	19,7	123	16,5	198	20,9	202	22,0	206	20,4
180	34,7	45	15,2	0	10,3	154	18,4	153	19,1	150	17,3
		2	11,5			111	15,9	97	15,6	100	14,5
						59	12,5	39	12,0	38	10,9
						3	10,6	0	10,5	0	9,5

**BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843004 : Caudal Vs Potência**



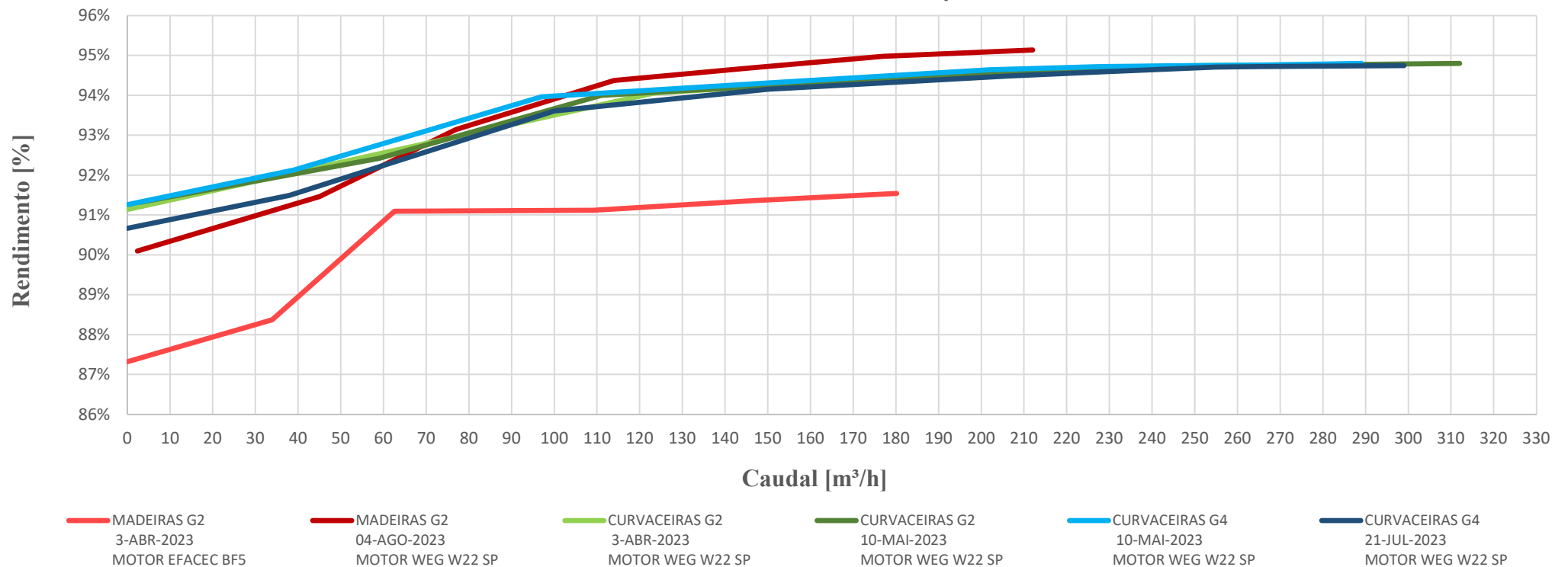
MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	212	75,4%	279	69,2%	312	74,8%	289	64,7%	299	75,8%
34	34,3%	177	76,4%	258	73,0%	284	79,2%	265	72,6%	265	81,3%
63	37,1%	145	76,2%	241	73,9%	255	80,1%	255	72,3%	255	80,7%
109	64,1%	114	73,6%	208	74,6%	227	80,8%	228	73,3%	229	82,0%
146	66,5%	77	64,7%	123	64,3%	198	79,9%	202	72,0%	206	81,0%
180	66,9%	45	48,7%	0	0,0%	154	74,5%	153	67,2%	150	75,2%
		2	3,3%			111	66,0%	97	56,4%	100	63,3%
						59	45,8%	39	30,7%	38	33,4%
						3	2,9%	0	0,0%	0	0,0%

BOMBA EFACEC CJG 125-315 S/N 22843004 : Caudal Vs Rendimento da Bomba [%]



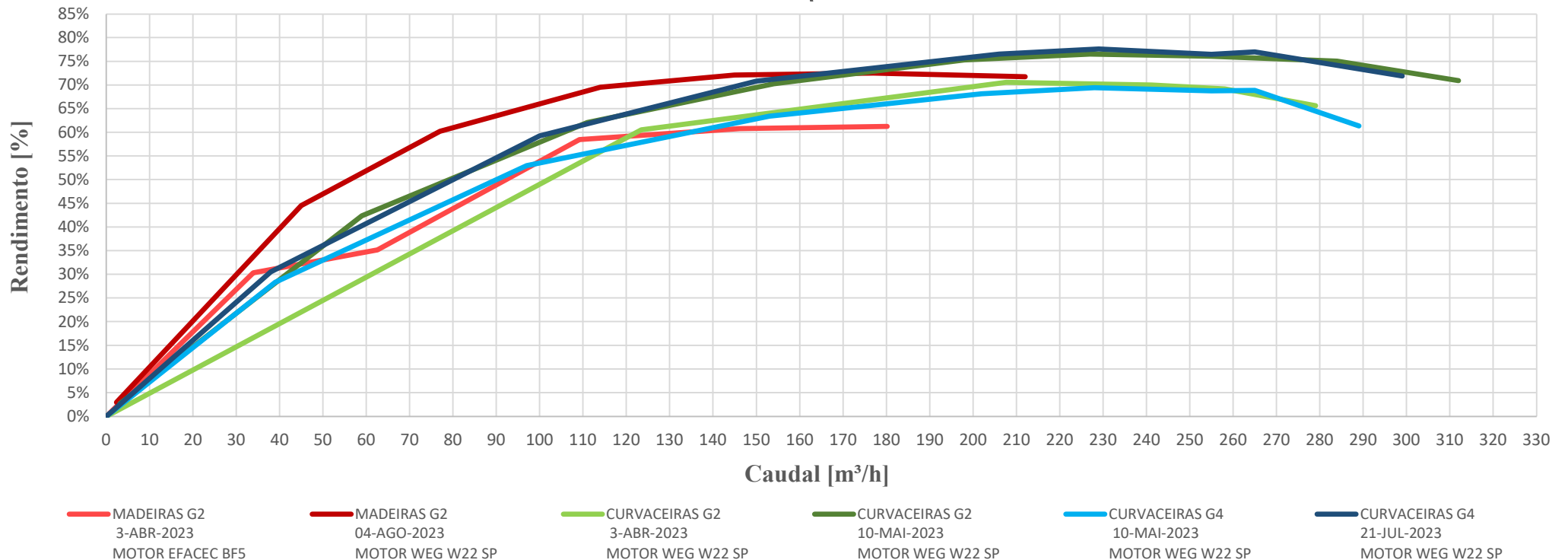
MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	87%	212	95%	279	95%	312	95%	289	95%	299	95%
34	88%	177	95%	258	95%	284	95%	265	95%	265	95%
63	91%	145	95%	241	95%	255	95%	255	95%	255	95%
109	91%	114	94%	208	95%	227	95%	228	95%	229	95%
146	91%	77	93%	123	94%	198	95%	202	95%	206	94%
180	92%	45	91%	0	91%	154	94%	153	94%	150	94%
		2	90%			111	94%	97	94%	100	94%
						59	92%	39	92%	38	91%
						3	91%	0	91%	0	91%

INTERCOMPARAÇÃO: Q Vs η Motor [%]



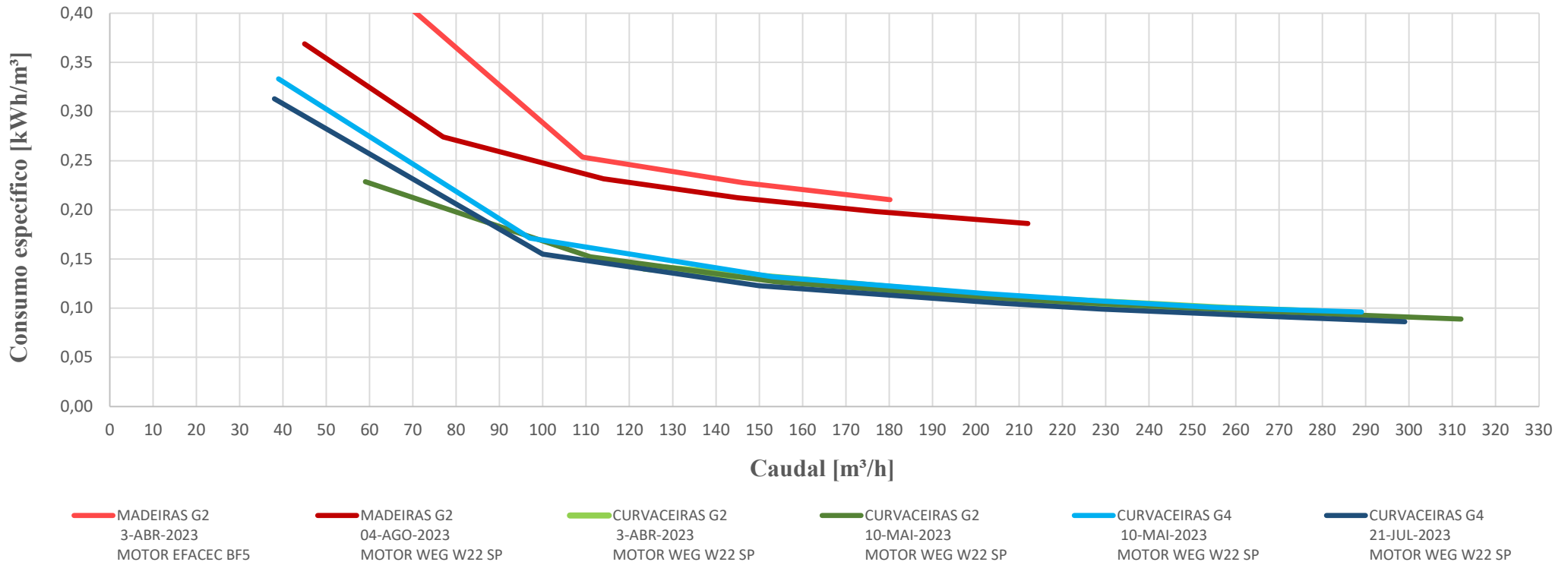
MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]	Q [m³/h]	η [%]
0	0,0%	212	71,8%	279	65,6%	312	70,9%	289	61,3%	299	71,9%
34	30,3%	177	72,6%	258	69,2%	284	75,0%	265	68,8%	265	77,0%
63	35,2%	145	72,1%	241	70,0%	255	76,0%	255	68,7%	255	76,5%
109	58,4%	114	69,5%	208	70,6%	227	76,5%	228	69,5%	229	77,6%
146	60,8%	77	60,2%	123	60,5%	198	75,3%	202	68,1%	206	76,5%
180	61,2%	45	44,5%	0	0,0%	154	70,2%	153	63,4%	150	70,8%
		2	3,0%			111	62,1%	97	53,0%	100	59,2%
						59	42,3%	39	28,3%	38	30,5%
						3	2,7%	0	0,0%	0	0,0%

INTERCOMPARAÇÃO: Q Vs η Grupo Eletrobomba [%]



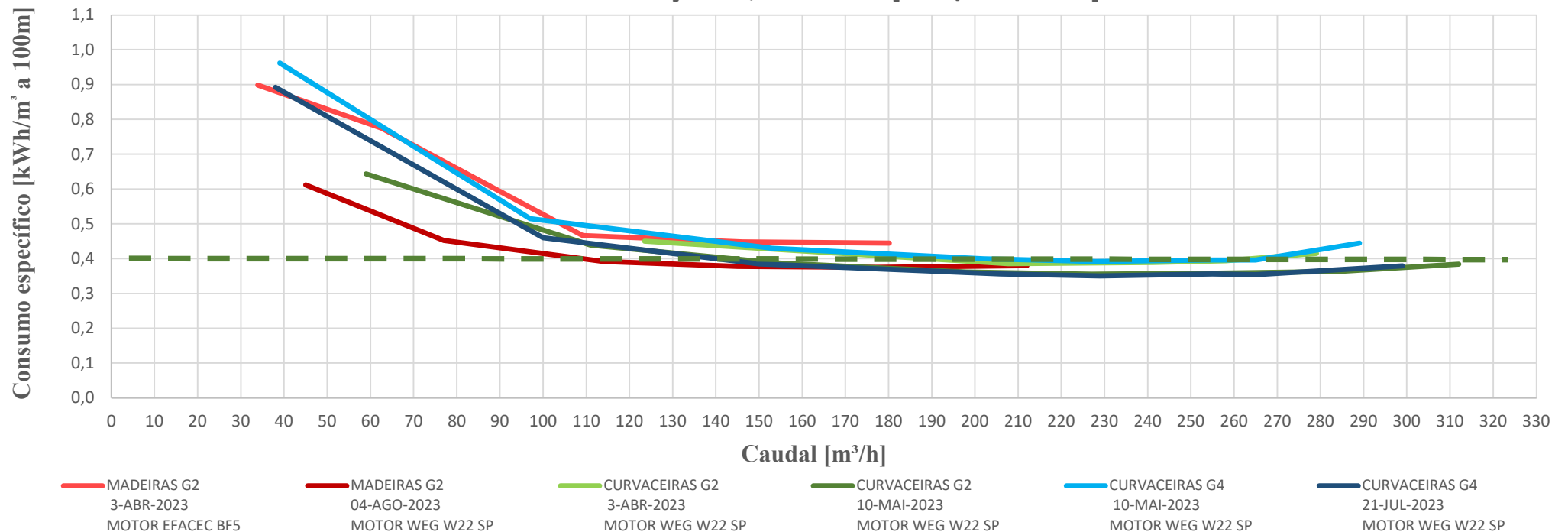
MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]	Q [m³/h]	Ce [kWh/m³]
0		212	0,186	279	0,095	312	0,089	289	0,096	299	0,086
34	0,504	177	0,198	258	0,099	284	0,094	265	0,099	265	0,092
63	0,431	145	0,212	241	0,103	255	0,099	255	0,101	255	0,094
109	0,254	114	0,232	208	0,110	227	0,105	228	0,107	229	0,099
146	0,228	77	0,274	123	0,142	198	0,112	202	0,115	206	0,105
180	0,210	45	0,369			154	0,127	153	0,132	150	0,123
						111	0,152	97	0,171	100	0,155
						59	0,229	39	0,333	38	0,313

INTERCOMPARAÇÃO: Q Vs Consumo específico [kWh/m³]



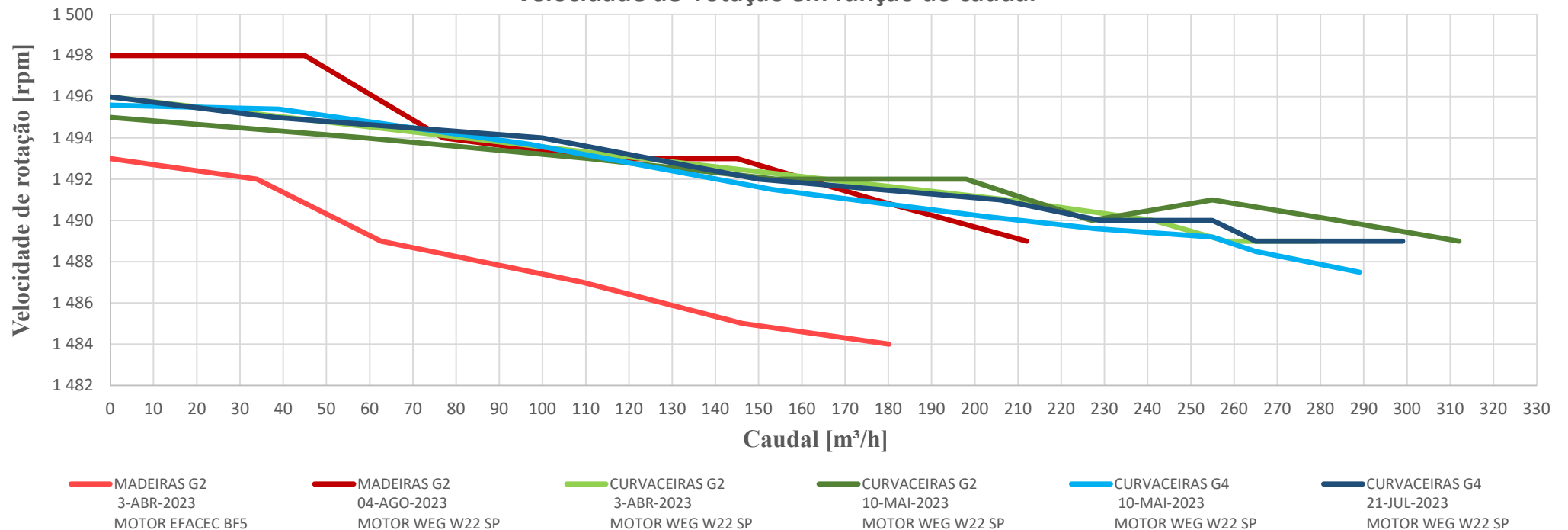
MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m³] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m³] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m³] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m³] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m³] a 100m	Q [m³/h]	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m³] a 100m
0		212	0,380	279	0,415	312	0,384	289	0,444	299	0,379
34	0,899	177	0,376	258	0,394	284	0,363	265	0,396	265	0,354
63	0,775	145	0,378	241	0,389	255	0,358	255	0,396	255	0,356
109	0,466	114	0,392	208	0,386	227	0,356	228	0,392	229	0,351
146	0,448	77	0,452	123	0,450	198	0,362	202	0,400	206	0,356
180	0,445	45	0,612			154	0,388	153	0,430	150	0,385
						111	0,439	97	0,515	100	0,460
						59	0,643	39	0,962	38	0,892

INTERCOMPARAÇÃO: Q Vs AA16ab [kWh/m³ a 100m]



MADEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR EFACEC BF5		MADEIRAS G2 04-AGO-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 3-ABR-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G2 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 10-MAI-2023 MOTOR WEG W22 SP		CURVACEIRAS G4 21-JUL-2023 MOTOR WEG W22 SP	
Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	N [rpm]	Q [m³/h]	N [rpm]
0	1493	212	1489	279	1489	312	1489	289	1488	299	1489
34	1492	177	1491	258	1489	284	1490	265	1489	265	1489
63	1489	145	1493	241	1490	255	1491	255	1489	255	1490
109	1487	114	1493	208	1491	227	1490	228	1490	229	1490
146	1485	77	1494	123	1493	198	1492	202	1490	206	1491
180	1484	45	1498	0	1496	154	1492	153	1492	150	1492
		0	1498			111	1493	97	1494	100	1494
						59	1494	39	1495	38	1495
						0	1495	0	1496	0	1496

Velocidade de rotação em função do caudal



## **OBSERVAÇÕES**

A confrontação direta dos resultados dos três grupos eletrobomba, permite com maior facilidade interpretar as alterações registadas nos grupos.

O grupo eletrobomba 2 da EE de Madeiras consegue obter um resultado muito significativo, tendo a eficiência do grupo subido mais de 10 pontos percentuais, reflexo natural da substituição do motor elétrico, associado ao excelente trabalho de revestimento que foi obtido, com a aplicação de produtos BS Coatings e com a experiência na aplicação da empresa Machado & Silveira.

No que respeita aos grupos 2 e 4 da EE Curvaceiras, é mais fácil a comparação por serem idênticos tanto na bomba como na sua motorização. A bomba do grupo 4 parte de um patamar de rendimento um pouco inferior, quando comparada com a do grupo 2, tendo alcançado valores de desempenho superiores à bomba do grupo 2. Facto também importante de destacar é o facto do caudal máximo da bomba do grupo 4 ser inferior à do grupo 2, após o trabalho do revestimento. Este conjunto de factos permite-nos concluir que o revestimento do impulsor da bomba do grupo 4, permite obter melhores valores de eficiência mas tendo como consequência uma menor capacidade de elevação. Efetivamente o trabalho realizado permite diminuir significativamente o atrito e consequentemente o aumento de capacidade de transferência de energia ao fluido, mas a diminuição da secção de passagem da água nos canais do impulsor, tem como implicação um menor aumento no caudal máximo elevado.

Data: qui 28/09/2023 Responsável: Miguel Fernandes

## 0. Sumário executivo

Após a realização de intervenções de manutenção, fazer registos dos pormenores executados é vital para a melhoria continua de todo o processo. A interpretação de avarias futuras, da curva de degradação de desempenho, da evolução das temperaturas dos rolamentos, da perda de água do empanque, etc. depende fortemente da capacidade técnica e das opções tomadas durante o período de manutenção, assim como dos registos que foram realizados.

Da avaliação dos revestimentos exteriores dependerá a proteção exterior das bombas. Da avaliação dos revestimentos interiores dependerá o rendimento da bomba bem como a sua proteção.

Os revestimentos aplicados na bomba do grupo 2 da EE de Madeiras sobressaíram nestes testes face aos revestimentos aplicados nas outras duas bombas, tanto ao nível de espessuras como ao nível de rugosidades.

## 1. Caracterização das instalações

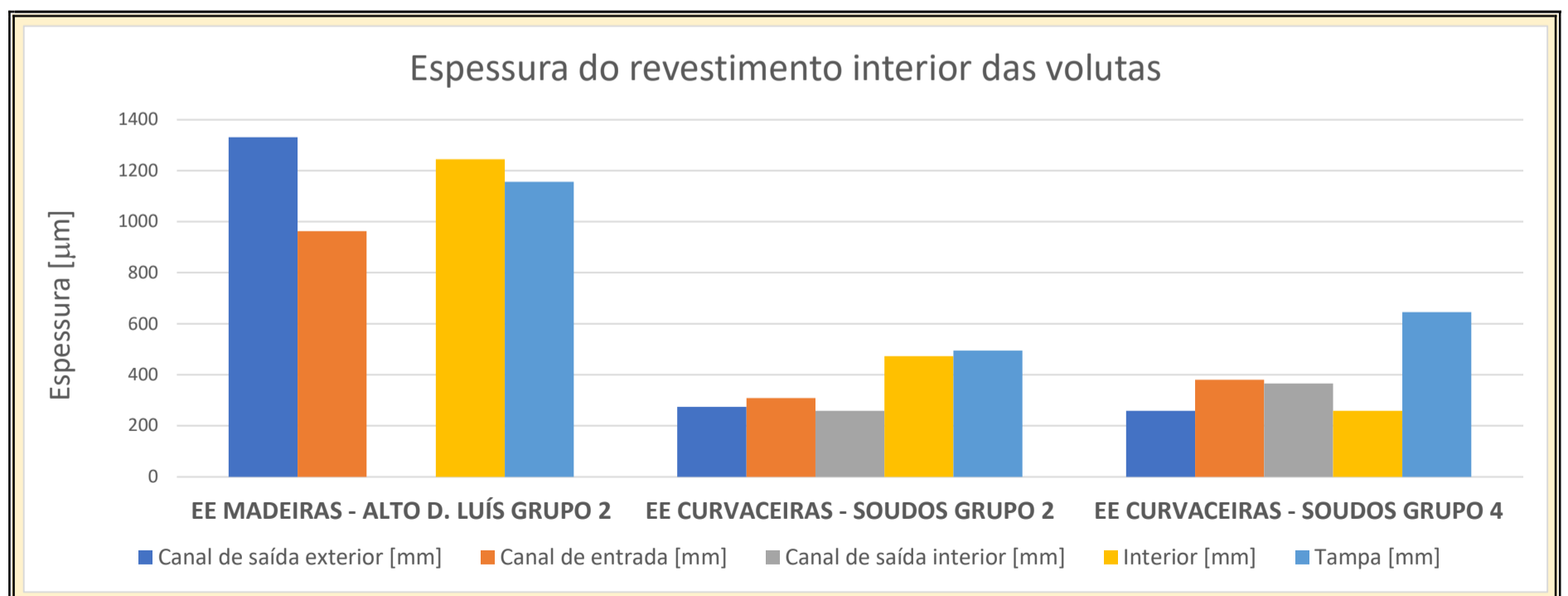
1.1 Sistema	Castelo do Bode	1.6 Subsistema	Médio Tejo Norte
1.2 Designação	EE Curvaceiras	1.7 Coordenadas	N 39°32'13.15" W 8°27'7.06"
1.3 Destino	Reservatório de Soudos		39.536996 -8.451952
1.4 Grupo	Grupo 2		
1.5 Grupo	Grupo 4		
1.8 Sistema	Castelo do Bode	1.12 Subsistema	Médio Tejo Sul
1.9 Designação	EE Madeiras	1.13 Coordenadas	N 39°28'45.1" W 8°21'35.9"
1.10 Destino	Reservatório Alto de Dom Luís		39.479202 -8.359957
1.11 Grupo	Grupo 2		

Observações Este registo corresponde à intervenção em três grupos eletrobomba: EE Curvaceiras - Soudos: Grupos 2 e 4+ EE Madeiras - Alto de Dom Luís: Grupo 2.

## 2. Comparação do trabalho realizado - voluta: espessuras

	EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2		EE CURVACEIRAS - SOUDOS GRUPO 2		EE CURVACEIRAS - SOUDOS GRUPO 4	
2.1 Canal de saída exterior [µm]	Média 1331	Desvio Padrão 315	Média 274	Desvio Padrão 10	Média 258	Desvio Padrão 45
2.2 Canal de entrada [µm]	Média 963	Desvio Padrão 406	Média 308	Desvio Padrão 16	Média 381	Desvio Padrão 201
2.3 Canal de saída interior [µm]	Média	Desvio Padrão	Média 259	Desvio Padrão 53	Média 366	Desvio Padrão 128
2.4 Interior [µm]	Média 1244	Desvio Padrão 249	Média 473	Desvio Padrão 41	Média 259	Desvio Padrão 55
2.5 Tampa [µm]	Média 1156	Desvio Padrão 394	Média 495	Desvio Padrão 68	Média 646	Desvio Padrão 86

Gráfico



Observações A espessura de revestimento no grupo 2 da EE de Madeiras é significativamente superior (>800 µm) aos outros dois grupos que têm espessuras de revestimento semelhantes (essencialmente entre os 200 e os 400 µm).

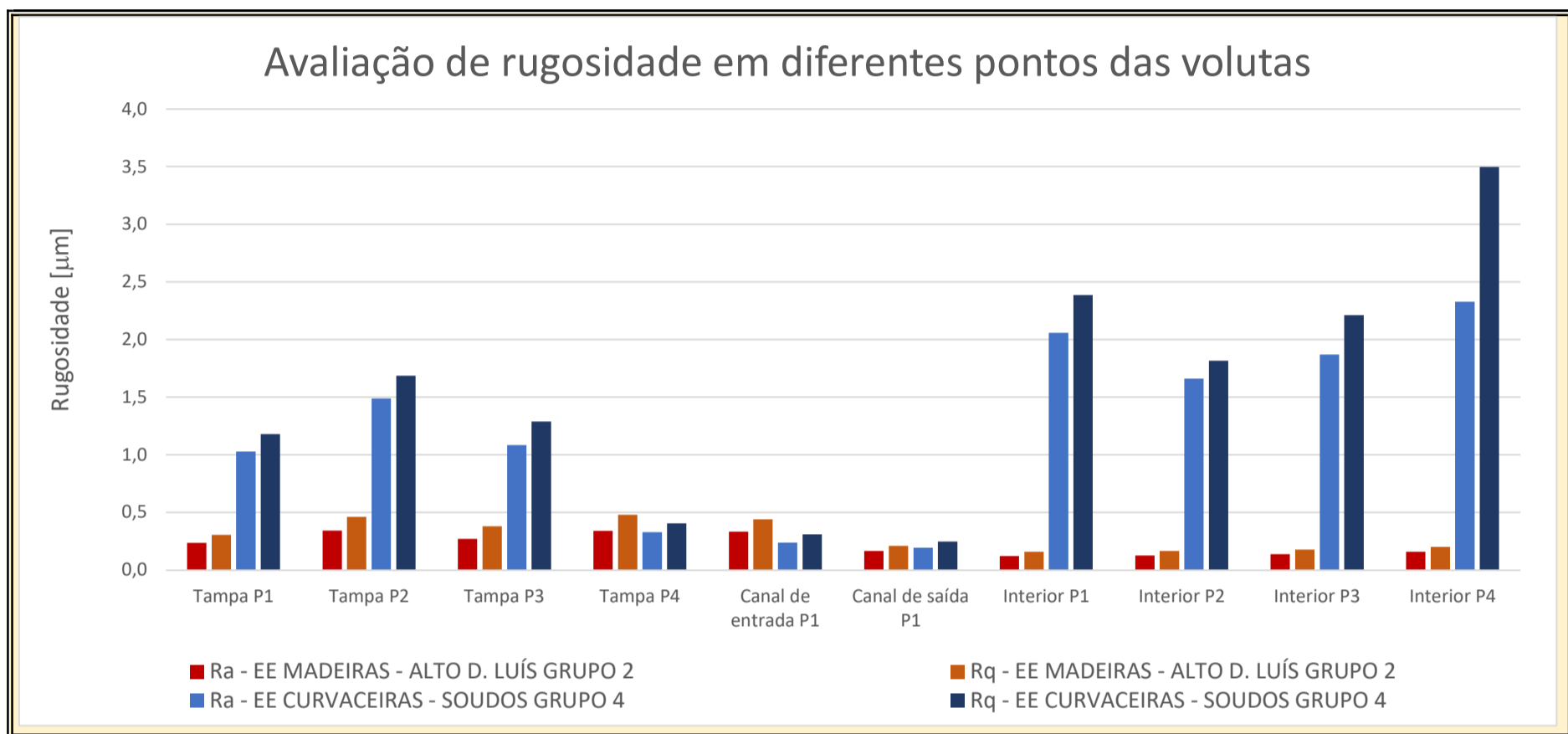
### 3. Comparação do trabalho realizado - voluta: rugosidades

EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2

EE CURVACEIRAS - SOUDOS GRUPO 4

	Ra - EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2	Rq - EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2	Rt	Ra - EE CURVACEIRAS - SOUDOS GRUPO 4	Rq - EE CURVACEIRAS - SOUDOS GRUPO 4	Rt
3.1 Tampa P1	0,23	0,31	2,74	1,03	1,18	6,21
3.2 Tampa P2	0,34	0,46	3,84	1,49	1,69	8,04
3.3 Tampa P3	0,27	0,38	3,77	1,08	1,29	8,32
3.4 Tampa P4	0,34	0,48	3,92	0,33	0,40	2,99
3.5 Canal de entrada P1	0,33	0,44	3,80	0,24	0,31	2,37
3.6 Canal de saída P1	0,17	0,21	2,35	0,19	0,25	2,27
3.7 Interior P1	0,12	0,16	0,99	2,06	2,39	11,23
3.8 Interior P2	0,13	0,17	1,54	1,66	1,82	12,43
3.9 Interior P3	0,14	0,18	1,33	1,87	2,21	17,33
3.10 Interior P4	0,16	0,20	1,28	2,33	3,50	27,59

Gráfico



Observações

Não foi possível medir a rugosidade do revestimento da bomba do grupo 2 da EE Curvaceiras porque esta foi a primeira bomba intervencionada e o rugosímetro ainda não tinha sido adquirido. Constata-se facilmente com a leitura do gráfico de rugosidades, que o revestimento da bomba do Grupo 2 da EE de Madeiras apresenta uma rugosidade significativamente inferior à bomba do grupo 4 da EE de Curvaceiras.

### 4. Comparação do trabalho realizado - impulsor: espessuras

EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2

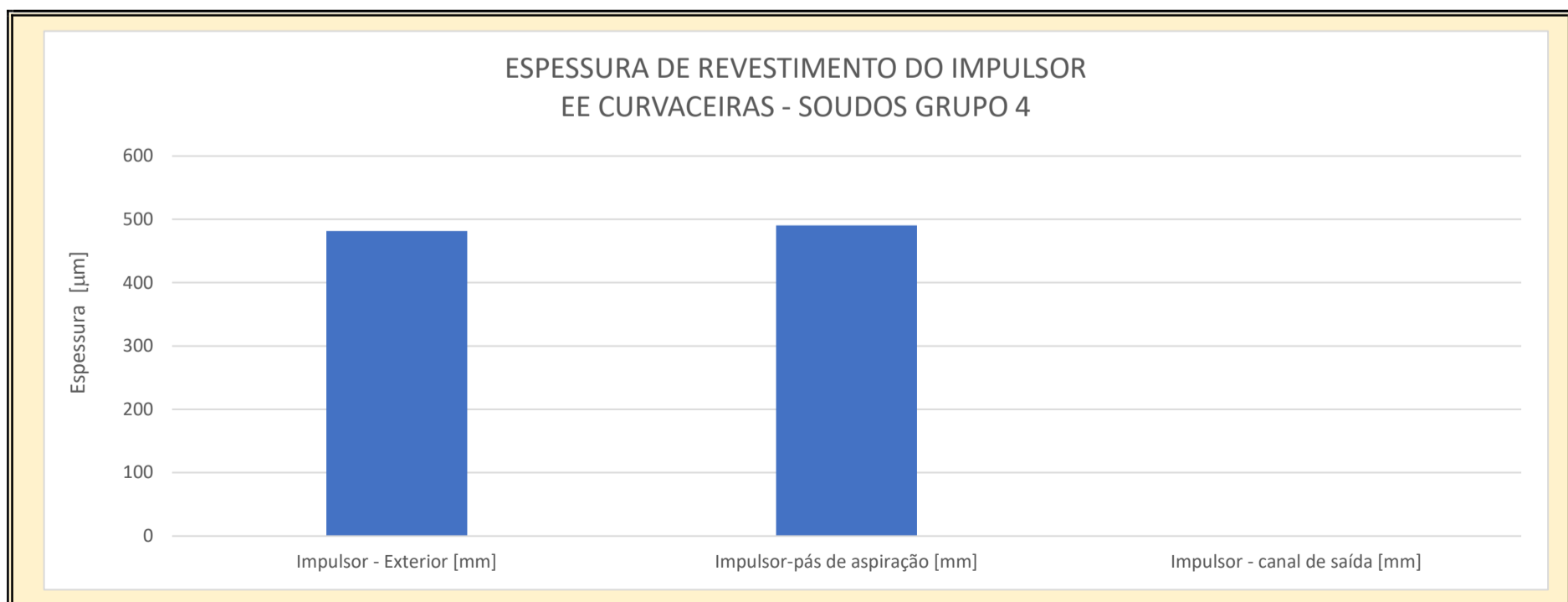
EE CURVACEIRAS - SOUDOS GRUPO 2

EE CURVACEIRAS - SOUDOS GRUPO 4

- 4.1 Impulsor - Exterior [µm]
- 4.2 Impulsor-pás de aspiração [µm]
- 4.3 Impulsor - canal de saída [µm]

Média	481,6	Desvio Padrão	119,6
Média	490,5	Desvio Padrão	81,7
Média		Desvio Padrão	

Gráfico



Observações

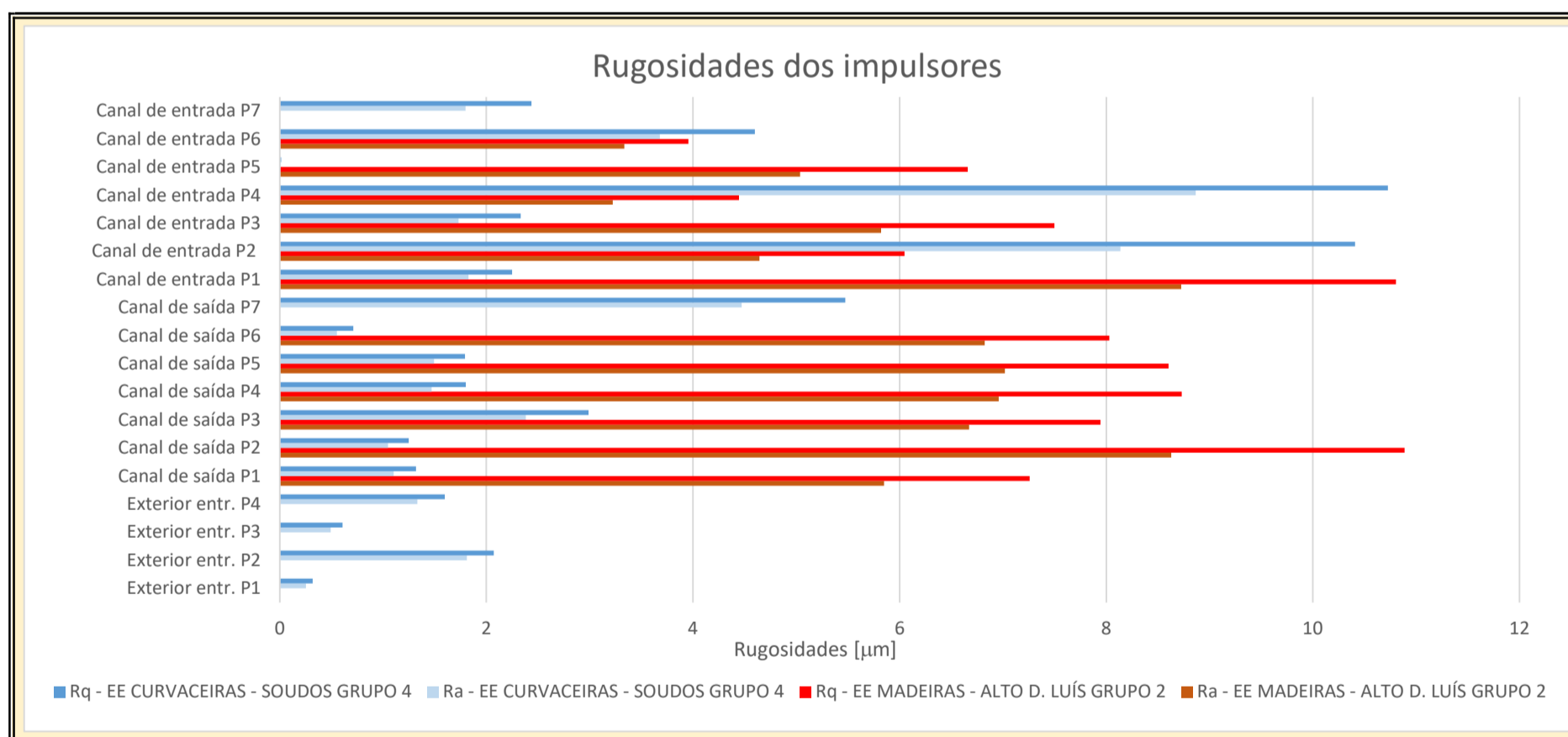
Apenas o impulsor da bomba do grupo 4 da EE Curvaceiras foi revestido.  
Em impulsores de dimensões semelhantes às deste impulsor é praticamente impossível de fazer medições de espessuras nos canais de saída. O valor médio da espessura de revestimento medida, aproxima-se do valor pré-definido de 500 µm.

**Instrumento de medição de espessuras: Trotec BB30 SN 8378 Ano:2019 (Parametrização para medição em ferro como material de base).**

## 5. Comparação do trabalho realizado - impulsor: rugosidades

	EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2			EE CURVACEIRAS - Soudos GRUPO 2			EE CURVACEIRAS - Soudos GRUPO 4		
	Ra - EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2	Rq - EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2	Rt - EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2				Ra - EE CURVACEIRAS - Soudos GRUPO 4	Rq - EE CURVACEIRAS - Soudos GRUPO 4	Rt - EE CURVACEIRAS - Soudos GRUPO 4
5.1 Exterior entr. P1							0,3	0,3	2,6
5.2 Exterior entr. P2							1,8	2,1	12,9
5.3 Exterior entr. P3							0,5	0,6	3,9
5.4 Exterior entr. P4							1,3	1,6	9,6
5.5 Canal de saída P1	5,849	7,258	37,009				1,1	1,3	7,1
5.6 Canal de saída P2	8,63	10,889	66,229				1,0	1,3	7,5
5.7 Canal de saída P3	6,672	7,944	35,773				2,4	3,0	19,7
5.8 Canal de saída P4	6,958	8,73	46,866				1,5	1,8	9,1
5.9 Canal de saída P5	7,02	8,603	53,502				1,5	1,8	12,0
5.10 Canal de saída P6	6,825	8,03	45,189				0,6	0,7	5,7
5.11 Canal de saída P7	-	-	-				4,5	5,5	26,0
5.12 Canal de entrada P1	8,726	10,804	63,544				1,8	2,2	16,5
5.13 Canal de entrada P2	4,644	6,047	55,638				8,1	10,4	66,5
5.14 Canal de entrada P3	5,82	7,498	57,736				1,7	2,3	20,2
5.15 Canal de entrada P4	3,224	4,445	32,708				8,9	10,7	69,8
5.16 Canal de entrada P5	5,036	6,659	46,735				0,0	0,0	0,1
5.17 Canal de entrada P6	3,336	3,955	27,469				3,7	4,6	41,5
5.18 Canal de entrada P7	-	-	-				1,8	2,4	21,7

Gráfico



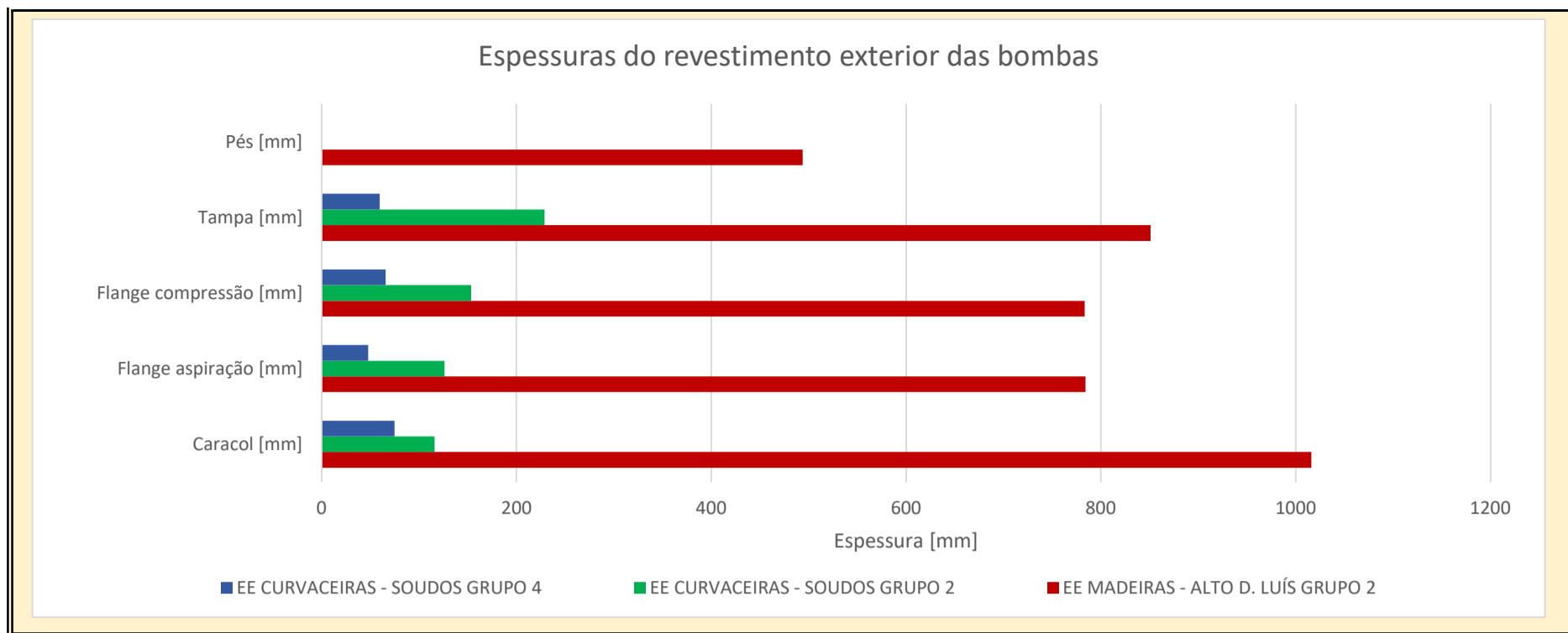
Observações

A comparação é feita entre um impulsor em Bronze revestido da bomba do grupo 4 da EE Curvaceiras, com um impulsor em Bronze que não foi revestido da bomba do grupo 2 da EE de Madeiras.

Nos canais de entrada o impulsor em bronze apresenta rugosidade maior que o impulsor revestido. Nos canais de saída dos impulsores, as rugosidades mais significativas são precisamente no impulsor revestido, quando comparado com o impulsor em bronze.

## 6. Comparação da voluta da bomba - revestim. exterior - espessuras

	EE MADEIRAS - ALTO D. LUÍS GRUPO 2		EE CURVACEIRAS - Soudos GRUPO 2		EE CURVACEIRAS - Soudos GRUPO 4	
10.1 Caracol [µm]	Média 1016	Desvio Padrão 584	Média 115,9	Desvio Padrão 53,1	Média 74,87	Desvio Padrão 30,3
10.2 Flange aspiração [µm]	Média 784	Desvio Padrão 615	Média 126,3	Desvio Padrão 49,9	Média 47,87	Desvio Padrão 27,7
10.3 Flange compressão [µm]	Média 783	Desvio Padrão 560	Média 153,5	Desvio Padrão 34,7	Média 65,68	Desvio Padrão 30,5
10.4 Tampa [µm]	Média 851	Desvio Padrão 435	Média 228,8	Desvio Padrão 89,3	Média 59,74	Desvio Padrão 20,8
10.5 Pés [µm]	Média 494	Desvio Padrão 578	Média		Média	Desvio Padrão



Observações: Apenas o revestimento exterior da bomba do grupo 2 da EE de Madeiras tem o nível mínimo de espessura de 200  $\mu\text{m}$ . As duas bombas da EE Curvaceiras (grupo 2 e grupo 4) não apresentam a espessura admissível.

## 6. Comparação de desempenhos obtidos

ESTAÇÃO ELEVATÓRIA GRUPO	desempenho antes do revestimento			desempenho após o revestimento			Melhoria obtida		
	Q [m <sup>3</sup> /h]	$\eta$ [%] (bomba)	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	Q [m <sup>3</sup> /h]	$\eta$ [%] (bomba)	AA16 <sub>ab</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	$\eta$ [%] (bomba)	[kWh/m <sup>3</sup> ] a 100m	Revestimento
<i>EE Madeiras</i> <i>Grupo 2</i>	180	66,9%	0,445	177	76,4%	0,376	9,5%	0,069	Voluta (BS Coatings)
				212	75,4%	0,380			
<i>EE Curvaceiras</i> <i>Grupo 2</i>	208	74,6%	0,386	198	79,9%	0,362	5,3%	0,024	Voluta (Loctite)
	241	73,9%	0,389	227	80,8%	0,356	6,9%	0,033	
	258	73,0%	0,394	255	80,1%	0,358	7,0%	0,036	
	279	69,2%	0,415	284	79,2%	0,363	9,9%	0,052	
				312	74,8%	0,384			
<i>EE Curvaceiras</i> <i>Grupo 4</i>	202	72,0%	0,400	206	81,0%	0,356	9,0%	0,044	Voluta + Impulsor (Belzona)
	228	73,3%	0,392	229	82,0%	0,351	8,7%	0,041	
	255	72,3%	0,396	255	80,7%	0,356	8,5%	0,040	
	265	72,6%	0,396	265	81,3%	0,354	8,7%	0,042	
	289	64,7%	0,444	299	75,8%	0,379	11,2%	0,065	