



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DA TORRE DE ARREFECIMENTO DO DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS**





LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DA TORRE DE ARREFECIMENTO DO DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

Estudo realizado para o Núcleo de Comportamento de Estruturas

Lisboa • maio 2023

**OAC&T** INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 213/2023 – **CIC/NSEM**

## **Título**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DA TORRE DE ARREFECIMENTO  
DO DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS**

## **Autoria**

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

**Ulisses Fernandes**

Investigador Auxiliar, Núcleo de Sistemas Eletrotécnicos e Mecânicos

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: [lnec@lnec.pt](mailto:lnec@lnec.pt)

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Relatório 213/2023

Proc. 0903/1302/2314803

## AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DA TORRE DE ARREFECIMENTO DO DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

### Resumo

---

Este estudo teve como objetivo analisar as condições de funcionamento da torre de arrefecimento instalada na cobertura do Departamento de Estruturas do LNEC e propor medidas de melhoria de eficiência e de racionalização do consumo de água.

A monitorização da torre de arrefecimento é essencial para avaliar o seu estado de conservação, o seu desempenho e o potencial de redução de custos de funcionamento que este tipo de instalações acarreta.

A análise baseou-se no levantamento de dados e informação disponíveis bem como nas visitas efetuadas às instalações. O referido estudo incidiu sobre a avaliação da possibilidade de aumentar a eficiência da torre de arrefecimento, através da integração de outro equipamento ao circuito de arrefecimento existente. Com esta integração, espera-se atingir uma poupança significativa no consumo de água no laboratório. A partir das relações encontradas foi elaborada uma proposta de melhoria, que passa por operar a torre de arrefecimento com um valor de caudal de água superior, aproveitando ao máximo as capacidades de arrefecimento da instalação.

A implementação desta medida poderá ter um custo de 1097,78 €, sendo 685,60 € o custo de aquisição da nova bomba e 412,17 € o custo das tubagens e acessórios.

Palavras-chave: Torre de arrefecimento / Permutador de calor / Unidade energética óleo-hidráulica

## EVALUATION OF THE OPERATING CONDITIONS OF THE COOLING TOWER OF THE DEPARTMENT OF STRUCTURES

### Abstract

---

This work aimed to analyze the operating conditions of the cooling tower installed on the roof of the Department of Structures at LNEC and propose measures to improve efficiency and reduce water consumption.

Monitoring the cooling tower is essential to assess its state of conservation, its performance and the potential for reducing operating costs of this type of installation.

The analysis was based on a survey of available data and information, as well as on visits made to the facilities. This study focused on evaluating the possibility of increasing the efficiency of the cooling tower, through the integration of other equipment into the existing cooling circuit. With this integration, it is expected to achieve significant savings in water consumption in the laboratory. Based on the relationships found, a proposal for improvement was drawn up, which involves operating the cooling tower with a higher water flow rate, making the most of the cooling capacities of the installation.

The implementation of this measure may have a cost of €1097.78, being €685.60 the cost of acquiring the new pump and €412.17 the cost of the pipes and accessories.

Keywords: Cooling tower / Heat exchanger / Hydraulic power pack

## Índice

1	Introdução .....	1
2	Estrutura .....	2
3	Caraterização do sistema de arrefecimento .....	3
	3.1 Descrição da torre de arrefecimento.....	3
	3.2 Bomba circuladora .....	5
	3.3 Permutador de calor.....	6
4	Proposta de alteração do circuito de arrefecimento .....	7
5	Conclusões.....	9
	Referências bibliográficas .....	10

## Índice de figuras

Figura 3.1 – Esquema do circuito de arrefecimento existente .....	4
Figura 3.2 – Imagem da unidade energética óleo-hidráulica ligada à torre de arrefecimento.....	4
Figura 3.3 – Imagem da bomba circuladora.....	5
Figura 4.1 – Esquema do circuito de arrefecimento proposto .....	7



## Índice de quadros

Quadro 3.1 – Condições de projeto da torre de arrefecimento TLA – 41 .....	3
Quadro 3.2 – Condições de projeto da bomba EFAFLU P 40-38.....	5
Quadro 3.3 – Condições de projeto do permutador de calor MG 155-1130-4.....	6
Quadro 4.1 – Condições de projeto do permutador de calor MG 131-535-4.....	8
Quadro 4.2 – Condições de projeto da bomba EFAFLU P 40-42T.....	8



## 1 | Introdução

O Núcleo de Comportamento de Estruturas (NCE) do Departamento de Estruturas (DE) do LNEC, tem uma longa experiência na área da caracterização de elementos de estruturas através de ensaios mecânicos de materiais em prensas hidráulicas.

Neste contexto, a qualidade dos ensaios experimentais assume um papel determinante para a realização dos referidos estudos, os quais requerem a utilização de equipamentos mais eficientes no que concerne aos consumos de energia e de água, promovendo a eficiência energética e a racionalização de consumos de água no laboratório.

Este estudo tem como principal objectivo analisar as condições de funcionamento da instalação de arrefecimento da unidade óleo-hidráulica (HIDROPULS) e apresentar uma proposta de melhoria do desempenho da torre de arrefecimento que poderá contribuir para a redução do consumo de água no laboratório. Neste sentido, foi necessário fazer o levantamento de toda a informação existente relativa às especificações e às condições de projeto de todos os componentes do circuito de arrefecimento existente.

## 2 | Estrutura

Este relatório está estruturado em 5 capítulos, efectuando-se, em seguida, um breve resumo do conteúdo dos capítulos de 3 a 5.

O capítulo 3 começa com uma breve descrição do sistema de arrefecimento com o objecto deste estudo, onde foram identificados os principais equipamentos através da recolha de informação sobre o modo e as condições de funcionamento da instalação.

No capítulo 4 foi analisada e caracterizada a solução proposta bem como a discussão dos resultados e o custo de aquisição da nova bomba bem como o custo das tubagens e acessórios.

Por fim, apresentam-se as conclusões, onde se encontra um resumo dos resultados esperados com a implementação da medida proposta.

### 3 | Caraterização do sistema de arrefecimento

#### 3.1 Descrição da torre de arrefecimento

O arrefecimento da unidade energética óleo-hidráulica HIDROPULS, instalada no Departamento de Estruturas, é efetuado através de um circuito de água e uma torre de arrefecimento. A torre de arrefecimento é da marca UNICLIMA, modelo TLA 41 e foi dimensionada para um arrefecimento de água de 6 °C, de 35 °C para 29 °C, para uma temperatura de bolbo húmido do ar atmosférico de 24 °C.

Com base nos dados e na informação disponíveis e sabendo a capacidade de arrefecimento ( $\dot{Q}$ ), kW, pode-se calcular o caudal mássico da água  $\dot{m}$ , (kg/s), aplicando a equação 1, onde  $T_e$  e  $T_s$  representam as temperaturas da água à entrada e à saída da torre de arrefecimento, respetivamente, e  $C_p$  (kJ/kg.K) o calor específico médio nas condições de projeto (Bergman *et al.*, Levenspiel). O quadro 3.1 mostra as condições de projeto da torre de arrefecimento alvo deste estudo. O valor obtido do caudal de água foi de 7,74 kg/s, o que é equivalente a 27,86 m<sup>3</sup>/h.

$$\dot{Q}_t = \dot{m}_{\text{água}} C_{\text{água}} (T_e - T_s) \quad (1)$$

Quadro 3.1 – Condições de projeto da torre de arrefecimento TLA – 41

Potência de arrefecimento (kW)	195
Caudal de ar (m <sup>3</sup> /s)	3,7
Potência do motor do ventilador (kW)	1,5
Temperatura de entrada da água (°C)	35
Temperatura de saída da água (°C)	29
Temperatura de bolbo húmido do ar (°C)	24

A figura 3.1 mostra um esquema do circuito de arrefecimento existente e a figura 3.2 mostra uma imagem da unidade energética óleo-hidráulica HIDROPULS.

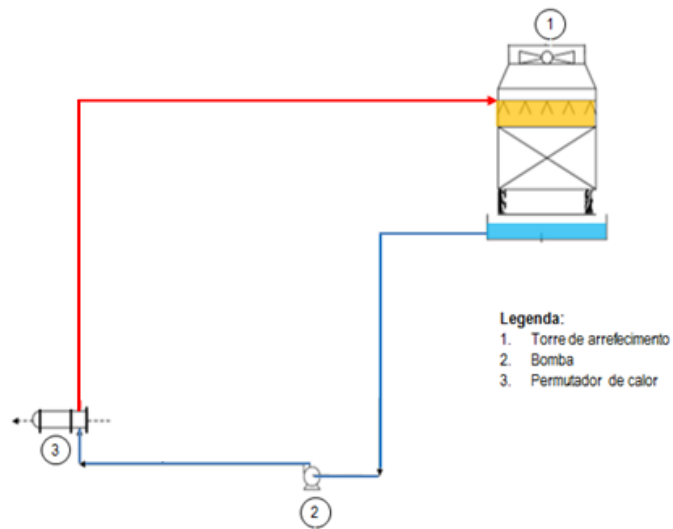


Figura 3.1 – Esquema do circuito de arrefecimento existente



Figura 3.2 – Imagem da unidade energética óleo-hidráulica ligada à torre de arrefecimento

### 3.2 Bomba circuladora

O primeiro passo foi analisar as condições de projeto da bomba circuladora uma vez que não existem caudalímetros instalados no circuito. Trata-se de uma bomba da marca EFAFLU, modelo P 40-38. A figura 3.3 mostra uma imagem da bomba e o quadro 3.2 mostra as condições de projeto da referida bomba.



Figura 3.3 – Imagem da bomba circuladora

Quadro 3.2 – Condições de projeto da bomba EFAFLU P 40-38

Caudal de água (m <sup>3</sup> /h)	21
Altura manométrica máxima (m)	39
Potência do motor (kW)	1,5
Velocidade de rotação (rpm)	2900
Tensão (V)	380

Com a análise das condições de funcionamento da bomba circuladora concluiu-se que as necessidades de caudal da torre de arrefecimento são superiores às condições de projeto da bomba em cerca de 25%.

### 3.3 Permutador de calor

O permutador de calor é do tipo carcaça e tubos da marca EMMEGI, modelo MG 155-1130-4. Este tipo de permutador de calor é constituído por um feixe de tubos onde circula o fluido interno (neste caso a água). Os tubos são envolvidos por uma carcaça cilíndrica, onde circula o óleo.

Com base na informação disponível verificou-se que este permutador foi projetado para caudais de óleo entre os 160 lt/min e os 420 lt/min. A temperatura de entrada do óleo pode ser ajustada no regulador de temperatura num intervalo que varia entre os 40 °C e os 65 °C, para que a temperatura do óleo à entrada do reservatório não exceda os 60 °C. Na figura 3.2 pode-se ver facilmente o permutador de calor. O quadro 3.3 mostra as condições de projecto deste permutador de calor (MG 155-1130-4).

**Quadro 3.3 – Condições de projeto do permutador de calor MG 155-1130-4**

Caudal de óleo mín/máx (lt/min)	160/420
Potência térmica min/max (kW)	85,8/138,0
Pressão máxima (bar)	12
Temperatura do óleo à entrada (°C)	55
Temperatura da água à entrada (°C)	20



## 4 | Proposta de alteração do circuito de arrefecimento

Para um melhor aproveitamento das capacidades da torre de arrefecimento propõe-se a seguinte alteração ao circuito de arrefecimento:

- Ligação da unidade energética óleo-hidráulica associada às prensas Baldwin/Shenck e MFL à torre de arrefecimento. Assim, o arrefecimento desta unidade passará a ser feito directamente pela torre de arrefecimento, evitando, deste modo, o desperdício de água da rede pública.
- O diâmetro da tubagem a usar nesta ligação deve ser de 3/4”.
- Substituir a bomba atual por outra de maior capacidade. (A título indicativo, recomenda-se a instalação da bomba da marca EFAFLU, modelo P 40-42T, cujas características técnicas encontram-se indicadas no quadro 4.2).

Com a alteração sugerida, a água dos dois circuitos irá convergir para a mesma tubagem que levará a água para a torre de arrefecimento, que a irá distribuir o mais uniformemente possível pelas células de arrefecimento. A água arrefecida é aspirada da bacia de retenção e depois distribuída para cada um dos circuitos.

A figura 4.1 mostra o esquema do circuito de arrefecimento proposto. O permutador de calor identificado com o número 1 refere-se ao permutador de calor da marca EMMEGI, modelo MG 155-1130-4, descrito na secção 3.3. Quanto ao permutador de calor identificado com o número 2, trata-se do permutador de calor da óleo-hidráulica associada às prensas Baldwin/Shenck e MFL, da marca EMMEGI, modelo MG 131-535-4, cujas características encontram-se indicadas no quadro 4.1.

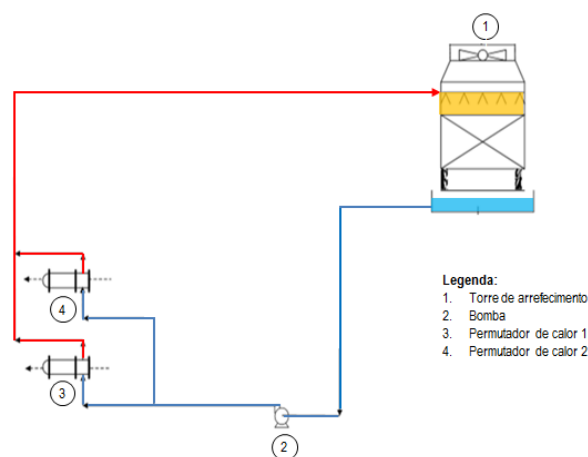


Figura 4.1 – Esquema do circuito de arrefecimento proposto

O quadro 4.1 apresenta os dados técnicos do permutador de calor da unidade energética óleo-hidráulica associada às prensas Baldwin/Shenck e MFL. É de referir que esta proposta constitui uma vantagem relativamente ao sistema existente uma vez que evitará o desperdício de água da rede pública para o esgoto.

**Quadro 4.1 – Condições de projeto do permutador de calor MG 131-535-4**

Caudal de óleo mín/máx (lt/min)	80/200
Potência térmica min/max (kW)	17,9/47,0
Pressão máxima (bar)	12
Temperatura do óleo à entrada (°C)	55
Temperatura da água à entrada (°C)	20

O quadro 4.2 apresenta as condições de projeto da bomba circuladora da marca EFAFLU, modelo P 40-41T.

**Quadro 4.2 – Condições de projeto da bomba EFAFLU P 40-42T**

Caudal de água máximo (m³/h)	30
Altura manométrica máxima (m)	42,5
Potência do motor (kW)	4
Velocidade de rotação (rpm)	2900
Tensão (V)	380

É de referir que a implementação desta medida proposta poderá ter um custo de cerca de 1097,78 €, sendo 685,60 € o custo de aquisição da nova bomba e 412,17 € o custo das tubagens e acessórios (30 m de comprimento de tubo de aço-carbono, 3/4", s195t, e 10 curvas a 90°).

## 5 | Conclusões

A torre de arrefecimento do Departamento de Estruturas, alvo deste estudo, foi identificada como tendo um grande potencial de poupança no consumo de água e manutenção, visto ter capacidade para a integração de uma nova unidade óleo-hidráulica à instalação. Com a análise das condições de funcionamento da torre de arrefecimento, concluiu-se que as necessidades atuais de caudal de água são inferiores às condições de projeto.

Assim, foram propostas medidas de melhoria do aproveitamento da capacidade de arrefecimento da torre de arrefecimento que poderão contribuir para a redução do consumo de água no laboratório.

A implementação destas medidas poderá contribuir para reduzir o consumo de água no laboratório, evitando o desperdício de cerca de 1,5 m<sup>3</sup>/h a 4 m<sup>3</sup>/h referente ao consumo de água da unidade energética óleo-hidráulica associada às prensas Baldwin/Shenck e MFL.

É de considerar que a implementação desta medida poderá ter um custo de 1097,78 €, sendo 685,60 € o custo de aquisição da nova bomba e 412,17 € o custo das tubagens e acessórios.

Lisboa, LNEC, janeiro de 2023

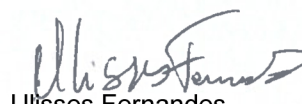
VISTOS

O Chefe do Núcleo de Sistemas Eletrotécnicos e  
Mecânicos




Paulo Gil de Moraes

AUTORIA



Ulisses Fernandes  
Investigador Auxiliar

O Diretor do Centro de Instrumentação Científica



João Carlos Viegas

## Referências bibliográficas

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P., 2011 – **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. Seventh Edition, USA: Wiley Ed. ISBN 13 978-0470-50197-9.

**Equipamentos de bombagem**. Catálogo disponível em <http://www.efafu.pt>.

LEVENSPIEL, O., 2014 – **Engineering Flow and Heat Exchange**. Third Edition, New York: Springer Ed. ISBN 978-1-4899-7453-2.

**Torres de arrefecimento Série TLA. Características Técnicas**. Catálogo disponibilizado pela UNICLIMA.

**Water-Oil heat-exchangers**. Catálogo disponível em <http://www.emmegi-heat-exchangers.com>.





[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL  
tel. (+351) 21 844 30 00  
lnec@lnec.pt [www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)