

**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

Mestrado em Engenharia Química

Ramo Tecnologias de Protecção Ambiental



**Caracterização de águas do processo e optimização dos consumos de água nos vários circuitos da**

**Petibol, S.A. – Embalagens de Plástico**



**Autor:** Márcia Patrícia Cardoso da Silva

**Novembro, 2010**

**Orientadora do ISEP:** Dr.<sup>a</sup> Leonilde Morais

**Orientador da empresa:** Eng. João Venâncio



## AGRADECIMENTOS

Aproveito este espaço para agradecer a várias pessoas pela disponibilidade e pela ajuda que me foi dada ao longo destes meses. Assim, começo por agradecer aos orientadores, Dr.<sup>a</sup> Leonilde Morais e Eng. João Venâncio, pelo constante apoio, sendo uma ajuda preciosa na elaboração da tese.

Um agradecimento aos trabalhadores da empresa Petibol, S.A. – Embalagens de Plástico pelo apoio de material para pesquisa no âmbito deste projecto e na constante recolha de amostras.

Aproveito para agradecer à Eng.<sup>a</sup> Paula Neto e Eng.<sup>a</sup> Albina Ribeiro, pela ajuda no dimensionamento da serpentina, bem como ao Eng. Vitorino Beleza, que por interposta pessoa da Dr.<sup>a</sup> Leonilde Morais, auxiliou na proposta de remoção de ferro e desinfecção do circuito. Quero também agradecer ao professor Eduardo Soares pela ajuda e disponibilidade na análise ao biofilme, presente no circuito de arrefecimento.

De igual forma quero agradecer aos técnicos comerciais das empresas fornecedoras dos equipamentos, entre outros, pelo fornecimento de preços e informações dos diferentes equipamentos dimensionados, bem como dos produtos químicos.

Não podia deixar de agradecer aos meus pais, irmão, namorado e amigos pelo apoio incondicional que sempre me deram.



## RESUMO

A empresa Petibol, S.A. – Embalagens de plástico centra-se na produção de embalagens de plástico a partir da matéria-prima Poliestireno Expandido (EPS) e Polipropileno Expandido (EPP). A empresa possui uma preocupação ao nível da qualidade da água e do aproveitamento energético, tendo desta forma surgido a realização do estudo na unidade industrial, com o objectivo de anular e/ou diminuir as possíveis lacunas existentes na unidade industrial.

Numa primeira etapa foi realizada uma caracterização global à qualidade da água e à empresa, actualizando-se os esquemas já existentes, contabilizando-se os custos actuais relativamente aos processos no circuito da água (arrefecimento, aquecimento e pressurização), e por fim, efectuou-se um levantamento *in loco* do circuito de água, relativamente à pressão, temperatura e caudal. Numa fase posterior, foram propostos equipamentos e processos, tendo em vista a colmatação dos problemas identificados, realizando-se um subsequente estudo relativamente aos custos inerentes a esses novos processos.

A caracterização à água foi avaliada em diferentes pontos do circuito industrial, tendo-se determinado na Sala de Bombagem que o filtro de areia não possuía as dimensões mais apropriadas, existindo também um problema a nível mecânico associado ao processo de contra-lavagem. Tais factos podem ser a causa da ocorrência de um aumento do teor de sólidos após a passagem na camada filtrante.

Relativamente ao amaciador, este deveria amaciar de forma completa a água para alimentação à caldeira, embora se tenha registado à saída do amaciador uma dureza de 21,3 mg/L, denunciando problemas na troca iónica.

No que toca à água de alimentação à caldeira, verifica-se a existência de parâmetros que não se encontram de acordo com os critérios enunciados para uma óptima qualidade, sendo eles o pH (10,14), condutividade (363  $\mu$ S/cm), teor de ferro (1,21 mg/L) e a dureza (16 mg/L). De salientar que somente o teor de cobre, que se encontra em quantidades vestigiais, apresenta-se de acordo com os valores impostos. No que respeita à água da caldeira, esta apresenta parâmetros incompatíveis com os recomendados, sendo eles a condutividade (7350  $\mu$ S/cm), teor de sólidos dissolvidos (5248 mg/L) e alcalinidade total (780 mg/L). De referir que o valor de pH (11,8) não se encontra de acordo com a aplicação do tratamento “fosfato-pH coordenado”. Em relação aos parâmetros com valores que se encontram dentro dos limites, estes correspondem à dureza (0 mg/L), ao teor de fosfatos (45 mg/L) e teor de sílica (0 mg/L).

A água do circuito de arrefecimento foi sujeita a uma análise microbiológica, que corroborou a presença de um biofilme.

Um dos problemas enunciados pela empresa, prendia-se com a impossibilidade de descarga, no colector municipal, dos condensados dos compressores, visto apresentarem uma quantidade de óleo de cerca de 43,3 mg/L, equivalente a quatro vezes o valor limite de emissão, de acordo com a legislação municipal. Por fim, o efluente de descarga industrial apresenta um valor de pH (10,3) acima do intervalo permitido por lei (6,0 – 9,0), sendo que a corrente que mais contribui para este acréscimo de pH corresponde à corrente proveniente da água de purga, visto esta apresentar um valor de pH de 12,22.

De maneira a contornar os parâmetros enunciados, é proposto a substituição do filtro de areia da Sala de Bombagem, assim como a inserção de um conjunto de medidas de remoção de ferro e desinfecção, sendo a conjugação de arejamento, coagulação, filtração e desinfecção, por parte do hipoclorito, a proposta apresentada. Aos condensados dos compressores é apresentado um sistema de separação, que possibilita a remoção do óleo da água, e uma consequente descarga da mesma. Actualmente, não existe qualquer filtro de areia no circuito de arrefecimento da água, sendo proposto assim esse equipamento, de forma a minorar o desenvolvimento da população microbiana, bem como a permitir uma maior eficiência na transferência de calor na torre de arrefecimento. Relativamente à descarga industrial, é recomendável a colocação de um sistema de regularização automática de pH.

A inserção de uma válvula de três vias permite um aproveitamento energético e de água, a partir da confluência da água oriunda dos furos com a água do tanque de água fria, sendo posteriormente alimentada à central de vácuo. No estudo da recuperação energética, um outro equipamento avaliado correspondeu à serpentina, no entanto, verificou-se que a poupança no consumo de gás natural era de apenas 0,005%, o que não se mostrou uma proposta viável. O orçamento de todos os equipamentos é de 11.720,76 €, possibilitando não só um melhor funcionamento industrial, como um menor impacto a nível ambiental.

Os custos futuros de funcionamento aumentam em 3,36%, tendo a pressurização um aumento do seu custo em 3,4% em relação ao custo actual, verificando-se um custo anual de 10.781,21€, em relação aos processos de arejamento, coagulação e desinfecção.

## ABSTRACT

The company Petibol, S.A. – Plastic packaging focuses on the production of plastic packaging from the natural resource Expandable Polystyrene (EPS) and Expandable Polypropylene (EPP). The company has a concern in the quality of water and energy improving, arriving this way to the realization of a study in the industry unit, with the purpose of cancel and/or decrease possible flaws in the industry unit.

In a first step was made a global characterization of water quality and in the company, updating the existing schemes, accounting the current costs relatively to processes in the water circuit (cooling, heating and pressurization), and finally, survey had been made *in loco* in the water circuit, relatively to pressure, temperature and flow. In a later stage, have been proposed equipment and processes, to fill in the identified problems, carrying out a further study about cost inherent in those new processes.

The characterization of the water was evaluated at different points in the circuit industry, was determinate in the Pumping Room that the sand filter didn't have the most appropriate dimensions, there also exists a problem with mechanical process associated with the backwash. Such facts could be the cause of the occurrence of an increase in the solids after passing in the filter layer.

For the softener, this should soften completely the feed water to the boiler, although had come out in the softener an hardness of 21,3 mg/L, exposing problems in ion exchange.

Regarding the feed water to the boiler, there exist parameters that aren't in accordance with criteria for optimum quality being the pH (10,14), the conductivity (363  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), the content of iron (1,21 mg/L) and the hardness (16 mg/L). To mark that only the content of copper, which is found in a few amount, is in accordance with the prescribed values.

Regarding to boiler water, it has incompatible parameters with the recommended values, and they are the conductivity (7350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), the content of dissolved solids (5248 mg/L) and total alkalinity (780 mg/L). Note that the value of pH (11,8) is not according with the application of "coordinated phosphate/pH" program. In case of parameters of values that are within the limits, these correspond to hardness (0 mg/L), the content of phosphate (45 mg/L) and the content of silica (0 mg/L).

The water cooling circuit was subjected to a microbiological analysis, confirming the presence of a biofilm.

One of the problems listed by the company, had to do with the impossibility to discharge, in the municipal collector, of compressor condensate, which has a quantity of oil of about 43,3 mg/L, equivalent to four times the discharge limit has a pH value (10,3) above

the range allowed by law (6,0 – 9,0), being that the current that contributes most to this increase in pH corresponds to the current from drain water, once it have pH value of 12,22.

In order to circumvent the parameters mentioned, it is proposed to replace of the sand filter in Pumping Room, as well as the inclusion of a set of measures of iron removal and disinfection, being combination of aeration, coagulation, filtration and disinfection, for part of the chlorine, the proposal submitted. To the compressor condensate is shown a splitting system that allows removal oil from the water.

Currently, doesn't exists any sand filter in the cooling circuit of water, so we it had been propose this equipment, in order to reduce the development of microbial population, also to allow more efficient heat transfer in the cooling tower. For the industrial discharge, it's recommended placing a system of automatic adjustment of pH.

The inclusion of a three way valve allows water and energy improving, from the confluence of water coming from the borehole with water tank of cold water and then fed into the central vacuum.

In the study of energy recovery, another equipment evaluated respect corresponds to the coil, however, it there was a saving in natural gas consumption of only 0,005%, doesn't presenting it self as a viable proposition. The budget for all equipment is 11.720,76 €, allowing not only a better functioning industrial, but also a smaller impact on environment.

The future costs of operation increase in 3,66%, and the pressurization increases the cost at 3,4% over the current cost, and there is an annual cost of 10.781,21 €, in relation to the processes of aeration, coagulation and disinfection.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>PETIBOL, S. A. – EMBALAGENS DE PLÁSTICO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Especificação empresarial</b>	<b>3</b>
1.1.1	Enquadramento Espacial .....	3
1.1.2	Perspectiva histórica .....	4
1.1.3	Produtos e Serviços .....	4
1.1.4	Processo de fabrico.....	6
1.1.5	Estrutura Organizacional .....	11
1.1.6	Compromisso de qualidade.....	11
1.1.7	Consciencialização ambiental .....	12
<b>1.2</b>	<b>Instalação industrial</b>	<b>15</b>
1.2.1	Sala de Bombagem.....	15
1.2.2	Sala da Caldeira.....	15
1.2.3	Sala Técnica .....	24
<b>1.3</b>	<b>Custos de funcionamento</b>	<b>27</b>
1.3.1	Custos de aquecimento.....	27
1.3.2	Custos de arrefecimento .....	28
1.3.3	Custos de pressurização .....	28
<b>2</b>	<b>DANOS DA ÁGUA SOBRE OS EQUIPAMENTOS</b>	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Circuitos de água e seus problemas associados</b>	<b>31</b>
2.1.1	Corrosão .....	31
2.1.2	Sujamento.....	33
<b>2.2</b>	<b>Perdas nos equipamentos</b>	<b>35</b>
2.2.1	Caldeira.....	35
2.2.2	Desgaseificador .....	38
2.2.3	Economizador .....	39
2.2.4	Circuito de arrefecimento .....	39
2.2.5	Acessórios .....	41
<b>2.3</b>	<b>Medidas preventivas</b>	<b>42</b>

2.3.1	Desgaseificador .....	42
2.3.2	Economizador .....	43
2.3.3	Caldeira.....	43
2.3.4	Circuito de arrefecimento .....	45
2.3.5	Análises periódicas ao sistema .....	48
<b>3</b>	<b>AVALIAÇÃO DA ÁGUA DO PROCESSO</b>	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b>Condições operatórias da unidade industrial</b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização da água</b>	<b>57</b>
3.2.1	Sala de Bombagem.....	58
3.2.2	Água de compensação da caldeira .....	60
3.2.3	Água dos condensados da linha de vapor.....	61
3.2.4	Água de alimentação à caldeira .....	62
3.2.5	Água da caldeira .....	63
3.2.6	Água de recirculação.....	65
3.2.7	Água dos condensados dos compressores .....	66
3.2.8	Camada viscosa.....	67
3.2.9	Purga .....	70
3.2.10	Descarga industrial .....	71
3.2.11	Moldes .....	72
<b>4</b>	<b>PROJECTO FUTURO</b>	<b>73</b>
<b>4.1</b>	<b>Projecto Futuro</b>	<b>75</b>
4.1.1	Redução do teor de Ferro .....	75
4.1.2	Desinfecção da linha industrial.....	77
4.1.3	Aproveitamento energético.....	79
4.1.4	Separação do óleo nos condensados .....	80
4.1.5	Redução do pH a nível da descarga industrial .....	80
4.1.6	Filtração da água de arrefecimento (FA2) .....	81
<b>4.2</b>	<b>Custos de funcionamento futuros</b>	<b>82</b>
4.2.1	Custos de aquecimento.....	83
4.2.2	Custos de arrefecimento .....	83
4.2.3	Custos de pressurização.....	84

4.2.4 Custos de tratamentos (arejamento/coagulação/desinfecção) .....	84
<b>4.3 Análise da viabilidade dos equipamentos</b>	<b>85</b>
<b>5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE FUTUROS TRABALHOS</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>103</b>
Anexo A.1. Esquemas da unidade industrial Petibol, S.A. – Embalagens de Plástico..	105
Anexo A.2. Custos do funcionamento industrial actual.....	113
<b>ANEXO B</b>	<b>123</b>
Anexo B.1. Tipos de corrosão.....	125
Anexo B.2. Limpeza química da caldeira .....	132
Anexo B.3. Aplicação de biocidas oxidantes e microbicidas .....	135
Anexo B.4. Manutenção e medidas de segurança em torres de arrefecimento.....	136
Anexo B.5. Protecção do circuito de arrefecimento de água .....	138
Anexo B.6. Avaliação da água da caldeira e água de arrefecimento.....	139
<b>ANEXO C</b>	<b>143</b>
Anexo C.1. Registo dos valores industriais .....	145
Anexo C.2. Caracterização da água dos circuitos do processo.....	145
Anexo C.3. Dosagem de coagulante.....	170
<b>ANEXO D</b>	<b>171</b>
Anexo D.1. Esquemas futuros.....	173
Anexo D.2. Dimensionamento dos equipamentos.....	177
Anexo D.3. Especificações dos equipamentos.....	185
Anexo D.4. Velocidades de lavagem dos filtros de areia.....	191
Anexo D.5. Dosagem de coagulante.....	192
Anexo D.6. Custos de funcionamento futuros .....	193
Anexo D.7. Avaliação económica.....	200

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.1.</b> <i>Vantagens e inconvenientes inerentes ao tratamento com fosfatos.</i> .....	23
<b>Tabela 2.1.</b> <i>Classificação dos diferentes tipos de sujamento .</i> .....	34
<b>Tabela 2.2.</b> <i>Conjunto de técnicas de limpeza física.</i> .....	47
<b>Tabela 2.3.</b> <i>Periodicidade recomendada na avaliação dos parâmetros para as águas do tanque água fria e tanque de água quente.</i> .....	49
<b>Tabela 3.1.</b> <i>Registo dos valores obtidos na avaliação da água da Sala de Bombagem.</i> .....	59
<b>Tabela 3.2.</b> <i>Registo dos valores obtidos para os parâmetros SST e SDT.</i> .....	60
<b>Tabela 3.3.</b> <i>Registo dos valores obtidos na avaliação da água de compensação da caldeira</i> .....	61
<b>Tabela 3.4.</b> <i>Registo dos valores obtidos na avaliação dos condensados.</i> .....	61
<b>Tabela 3.5.</b> <i>Registo dos valores obtidos na avaliação da água de alimentação à caldeira.</i> ..	62
<b>Tabela 3.6.</b> <i>Registo dos valores para avaliação da água da caldeira.</i> .....	64
<b>Tabela 3.7.</b> <i>Registo dos valores obtidos na análise da água de recirculação.</i> .....	65
<b>Tabela 3.8.</b> <i>Registo dos valores obtidos na avaliação da água da purga.</i> .....	70
<b>Tabela 3.9.</b> <i>Registo dos valores obtidos na avaliação do efluente.</i> .....	71
<b>Tabela 4.1.</b> <i>Listagem dos equipamentos/produtos químicos de coagulação/arejamento.</i> ....	77
<b>Tabela 4.2.</b> <i>Valores percentuais de HClO e ClO<sup>-</sup> em função do valor de pH.</i> .....	78
<b>Tabela 4.3.</b> <i>Listagem dos equipamentos/produtos químicos de desinfecção.</i> .....	78
<b>Tabela 4.4.</b> <i>Listagem dos equipamentos de recuperação energética.</i> .....	80
<b>Tabela 4.5.</b> <i>Listagem dos equipamentos de separação do óleo emulsionado.</i> .....	80
<b>Tabela 4.6.</b> <i>Listagem dos equipamentos/produtos químicos de correcção de pH.</i> .....	81
<b>Tabela 4.7.</b> <i>Listagem do equipamento de filtração do circuito de arrefecimento.</i> .....	81
<b>Tabela 4.8.</b> <i>Avaliação geral dos equipamentos/processos.</i> .....	85
<b>Tabela 4.9.</b> <i>Avaliação geral dos equipamentos/processos (cont.)</i> .....	86
<b>Tabela A.1.</b> <i>Tarifário de longas utilizações.</i> .....	113
<b>Tabela A.2.</b> <i>Horário para tarifa de média tensão.</i> .....	114
<b>Tabela A.3.</b> <i>Custos horários de electricidade para Inverno e Verão.</i> .....	114
<b>Tabela A.4.</b> <i>Dados referentes à EDP gás.</i> .....	116

<i>Tabela A.5. Custo de pressurização na Sala de Bombagem. ....</i>	117
<i>Tabela A.6. Custo de pressurização na Central de Vácuo. ....</i>	117
<i>Tabela A.7. Custo de arrefecimento na Central de água de refrigeração. ....</i>	118
<i>Tabela A.8. Custos do funcionamento do amaciador. ....</i>	119
<i>Tabela A.9. Custos energéticos inerentes à caldeira. ....</i>	119
<i>Tabela A.10. Custos totais do funcionamento da caldeira. ....</i>	121
<i>Tabela A.11. Custos globais do aquecimento futuro. ....</i>	121
<i>Tabela B.1. Equipamentos de protecção na manutenção de torres de arrefecimento. ....</i>	137
<i>Tabela B.2. Protocolo de aplicação de passivação. ....</i>	138
<i>Tabela B.3. Indicadores recomendados para avaliar na caldeira. ....</i>	139
<i>Tabela B.4. Indicadores de controlo na água de arrefecimento. ....</i>	141
<i>Tabela C.1. Registo dos valores referentes à temperatura nos diferentes tanques de água. ....</i>	145
<i>Tabela C.2. Parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de água. ....</i>	146
<i>Tabela C.3. Equipamentos utilizados na avaliação da água do circuito. ....</i>	147
<i>Tabela C.4. Registo de parâmetros avaliados no tanque de bombagem. ....</i>	148
<i>Tabela C.5. Registo dos valores referentes ao pH nos diferentes locais de amostragem. ....</i>	149
<i>Tabela C.6. Registo dos valores referentes à alcalinidade M. ....</i>	150
<i>Tabela C.7. Registo dos valores referentes à alcalinidade P. ....</i>	150
<i>Tabela C.8. Registo dos valores referentes ao CQO na água do tanque de bombagem. ....</i>	151
<i>Tabela C.9. Registo dos valores referentes ao teor de cloretos no tanque de bombagem. ....</i>	152
<i>Tabela C.10. Registo dos valores de condutividade nas diferentes amostras de água. ....</i>	153
<i>Tabela C.11. Registo dos valores da cor nas diferentes amostras de água. ....</i>	154
<i>Tabela C.12. Registo dos valores de turvação nas diferentes amostras de água. ....</i>	154
<i>Tabela C.13. Registo dos valores da dureza nas diferentes amostras de água. ....</i>	155
<i>Tabela C.14. Classificação da água de acordo com o seu grau de dureza. ....</i>	156
<i>Tabela C.15. Registo dos valores dos sólidos dissolvidos totais nas diferentes amostras de água. ....</i>	157
<i>Tabela C.16. Registo dos valores dos sólidos suspensos totais nas diferentes amostras de água. ....</i>	158
<i>Tabela C.17. Registo dos valores referentes ao volume de permanganato de potássio. ....</i>	159
<i>Tabela C.18. Registo dos valores para a determinação da oxidabilidade. ....</i>	159
<i>Tabela C.19. Dados da calibração a partir dos padrões de nitratos. ....</i>	161
<i>Tabela C.20. Determinação do teor de nitratos na água. ....</i>	161

---

<i>Tabela C.21. Registo dos valores para a quantificação do teor de sulfatos.....</i>	162
<i>Tabela C.22. Dados da calibração a partir dos padrões de cobre. ....</i>	163
<i>Tabela C.23. Registo das absorvâncias obtidas para a água de alimentação à caldeira....</i>	163
<i>Tabela C.24. Dados da calibração a partir dos padrões de ferro.....</i>	164
<i>Tabela C.25. Resultados obtidos para a quantificação de ferro. ....</i>	164
<i>Tabela C.26. Dados da calibração a partir dos padrões de cálcio. ....</i>	165
<i>Tabela C.27. Registo dos valores obtidos para a concentração do catião cálcio.....</i>	166
<i>Tabela C.28. Dados da calibração a partir dos padrões de magnésio.....</i>	167
<i>Tabela C.29. Registo do valor da concentração de magnésio.....</i>	167
<i>Tabela C.30. Registo do valor obtido para a quantificação de óleo. ....</i>	168
<i>Tabela C.31. Volume de coagulante adicionado para os diferentes valores de pH. ....</i>	170
<i>Tabela D.1. Especificações técnicas do filtro de areia da água de arrefecimento. ....</i>	187
<i>Tabela D.2. Velocidade de lavagem para expansão da areia, nos diferentes tamanhos efectivos.....</i>	191
<i>Tabela D.3. Velocidade de lavagem para expansão da antracite, nos diferentes tamanhos efectivos.....</i>	191
<i>Tabela D.4. Custo futuro de pressurização na Central de vácuo.....</i>	193
<i>Tabela D.5. Custos totais do funcionamento da caldeira.....</i>	196
<i>Tabela D.6. Custos globais do aquecimento futuro. ....</i>	197
<i>Tabela D.7. Custos globais de arejamento.....</i>	197
<i>Tabela D.8. Custos globais de arejamento, coagulação e desinfecção.....</i>	200

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Localização espacial da freguesia de Leça do Balio. ....	3
<b>Figura 1.2.</b> Mapa da rede viária principal. ....	4
<b>Figura 1.3.</b> Comparação entre a matéria-prima antes e após sofrer um pré-expansão. ....	5
<b>Figura 1.4.</b> Fase de estabilização do material nos silos. ....	7
<b>Figura 1.5.</b> Fotografia da produção de peças em EPS. ....	7
<b>Figura 1.6.</b> Fluxograma do processo de fabrico de peças moldadas. ....	8
<b>Figura 1.7.</b> Fluxograma da produção de Betisol. ....	9
<b>Figura 1.8.</b> Máquina de produção de blocos. ....	10
<b>Figura 1.9.</b> Máquinas de corte de placas. ....	10
<b>Figura 1.10.</b> Fluxograma da produção de blocos. ....	11
<b>Figura 1.11.</b> Esquema global da unidade industrial. ....	13
<b>Figura 1.12.</b> Fotografia da unidade de permuta iónica existente na Petibol. ....	16
<b>Figura 1.13.</b> Esquema da permuta de iões realizada entre a resina catiónica e os iões cálcio e magnésio. ....	16
<b>Figura 1.14.</b> Esquema de uma unidade de amaciamento de água. ....	17
<b>Figura 1.15.</b> Fotografia do equipamento de desgaseificação. ....	18
<b>Figura 1.16.</b> Gráfico ilustrativo da solubilidade do oxigénio em função da temperatura. ....	18
<b>Figura 1.17.</b> Representação de um desgaseificador do tipo horizontal. ....	19
<b>Figura 1.18.</b> Fotografia do economizador presente na Petibol. ....	20
<b>Figura 1.19.</b> Ilustração do posicionamento dos equipamentos na Sala da Caldeira. ....	20
<b>Figura 1.20.</b> Fotografia da caldeira presente na Petibol. ....	21
<b>Figura 1.21.</b> Esquema representativo de uma caldeira pirotubular. ....	21
<b>Figura 1.22.</b> Princípio do funcionamento do anel líquido numa bomba de vácuo. ....	24
<b>Figura 1.23.</b> Apresentação dos três compressores pertencentes à Central de ar comprimido. ....	25
<b>Figura 1.24.</b> Armazenamento da água contendo óleo lubrificante. ....	25
<b>Figura 1.25.</b> Fotografia das duas torres de arrefecimento. ....	26
<b>Figura 1.26.</b> Saída de água de arrefecimento para o tanque de água quente. ....	26
<b>Figura 1.27.</b> Distribuição dos custos de funcionamento do circuito de água. ....	27
<b>Figura 1.28.</b> Custos inerentes ao aquecimento de água. ....	28
<b>Figura 2.1.</b> Caso típico de corrosão. ....	31
<b>Figura 2.2.</b> Depósito de carbonato de cálcio na superfície de um condensador. ....	34

<b>Figura 2.3.</b> Presença de incrustações de ferro numa torre de arrefecimento. ....	34
<b>Figura 2.4.</b> Acção directa da deposição na transferência de calor entre o tubo da caldeira e a água da caldeira.....	37
<b>Figura 3.1.</b> Registo dos valores quantificados no circuito da água na unidade industrial. ....	55
<b>Figura 3.2.</b> Comparação entre água com óleo emulsionado e água com óleo livre. ....	66
<b>Figura 3.3.</b> Formação da emulsão de óleo em água.....	67
<b>Figura 3.4.</b> Imagem da fotografia por microscopia óptica do biofilme, com ampliação de 10x. ....	68
<b>Figura 3.5.</b> Imagens digitalizadas a partir de microscopia óptica: (a) e (b) observação de bactérias filamentosas e não filamentosas, com ampliação de 10x; (c) e (d) observação de rotíferos, com ampliação de 10x e 40x, respectivamente; (e) observação de protozoários ciliados, com ampliação de 40x.....	69
<b>Figura 3.6.</b> Purga descontínua da caldeira. ....	70
<b>Figura 3.7.</b> Fotografia de moldes existentes na Petibol: (a) molde em estado novo; (b) molde após utilização. ....	72
<b>Figura 4.1.</b> Custos de funcionamento do circuito de água. ....	82
<b>Figura 4.2.</b> Custos inerentes ao aquecimento de água.....	83
<b>Figura A.1.</b> Esquema actualizado da Sala de Bombagem.....	107
<b>Figura A.2.</b> Esquema actualizado da Sala da Caldeira.....	109
<b>Figura A.3.</b> Esquema actualizado da Sala Técnica.....	111
<b>Figura A.4.</b> Factura da electricidade da Petibol. ....	113
<b>Figura A.5.</b> Relatório dos consumos mensais, relativamente ao mês de Dezembro de 2009. ....	115
<b>Figura B.1.</b> Corrosão uniforme na área de contacto entre tubo de latão e metal não metálico.....	125
<b>Figura B.2.</b> Secção do interior do anel de um sistema de arrefecimento. ....	125
<b>Figura B.3.</b> Foto ilustrativa de corrosão intergranular. ....	126
<b>Figura B.4.</b> Exemplo de um metal afectado por picadura. ....	126
<b>Figura B.5.</b> Ilustração de deszincificação de um latão. ....	127
<b>Figura B.6.</b> Exemplo de falhas provocadas pela corrosão sob tensão.....	127
<b>Figura B.7.</b> Depressões, em forma de ferradura, na superfície interna de um tubo de permutador de calor .....	128

<b>Figura B.8.</b> Representação de uma família de fissuras na superfície externa.....	129
<b>Figura B.9.</b> Fenda corroída entre um tubo laminado de um permutador de calor e uma placa de aço. ....	130
<b>Figura B.10.</b> Exemplo de uma corrosão biológica activa. ....	131
<b>Figura C.1.</b> Curva de calibração do teor de nitratos. ....	161
<b>Figura C.2.</b> Curva de calibração da concentração de ferro. ....	164
<b>Figura C.3.</b> Curva de calibração da concentração do cálcio. ....	166
<b>Figura C.4.</b> Curva de calibração da concentração do magnésio. ....	167
<b>Figura C.5.</b> Normas de qualidade de descarga em colectores municipais. ....	169
<b>Figura D.1.</b> Esquema proposto pela Petibol.....	173
<b>Figura D.2.</b> Esquema proposto na unidade industrial.....	175

## NOMENCLATURA

### Abreviaturas

<i>EPS</i>	Poliestireno Expandido
<i>EPP</i>	Polipropileno Expandido
<i>INE</i>	Instituto Nacional de Estatística
<i>SPV</i>	Sociedade Ponto Verde
<i>SGQ</i>	Sistema de Gestão e Qualidade
<i>SGA</i>	Sistema de Gestão Ambiental
<i>ROPE</i>	Bactérias Aeróbias Formadoras de Limo
<i>SST</i>	Sólidos Suspensos Totais
<i>SDT</i>	Sólidos Dissolvidos Totais
<i>EDTA</i>	Ácido etilenodiaminotetracético
<i>UV</i>	Ultravioleta
<i>IP</i>	Instituto de Meteorologia de Portugal
<i>CQO</i>	Carência Química de Oxigénio
<i>L.Q.</i>	Limite de Quantificação
<i>ASME</i>	American Society of Mechanical Engineers
<i>APAVE</i>	Association of Electrical and Steam Unit Owners
<i>ABMA</i>	American Boiler Manufactures Association
<i>CBO</i>	Carência Bioquímica de Oxigénio
<i>COT</i>	Carbono Orgânico Total
<i>FA1</i>	Filtro de Areia da Sala de Bombagem
<i>FA2</i>	Filtro de Areia do Circuito de Arrefecimento
<i>EDP</i>	Energias de Portugal
<i>MIC</i>	Microbiologically Influenced Corrosion
<i>CIB</i>	Corrosão por Influência Biológica
<i>SRB</i>	Sulfatorredutoras
<i>MBT</i>	Metilenobistiocianato
<i>EAA</i>	Espectrofotometria de Absorção Atómica com Câmara de Grafite

## Simbologia latina

$a$	Constante de convecção natural de cilindro vertical
$A$	Área
$A_e$	Área externa da serpentina
$A_f$	Área do filtro
$A_i$	Área interna da serpentina
$A_{int.}$	Área interna do tubo
$Abs_{220}$	Absorvância para o comprimento de onda de 220 nm
$Abs_{275}$	Absorvância para o comprimento de onda de 275 nm
$Abs_{Total}$	Absorvância total
$Am_{ln}$	Área média logarítmica
$c_{coag.}$	Concentração de coagulante
$Cp_1$	Capacidade calorífica da corrente 1
$Cp_2$	Capacidade calorífica da corrente 2
$Cp_3$	Capacidade calorífica do banho 3
$D_c$	Diâmetro da espiral da serpentina
$d_e$	Diâmetro externo
$d_i$	Diâmetro interno
$g$	Aceleração da gravidade
$Gr$	Número de Grashof
$h_1$	Entalpia específica da corrente 1
$h_{1F}$	Entalpia específica da corrente 1 do projecto futuro
$h_2$	Entalpia específica da corrente 2
$h_e$	Coefficiente de transferência de calor externo
$h_g$	Entalpia específica da vapor proveniente da caldeira
$h_i$	Coefficiente de transferência de calor interno
$h_{id}$	Coefficiente de sujidade no interior do tubo
$h_{sd}$	Coefficiente de sujidade no exterior do tubo
$k_1$	Condutividade térmica da corrente 1
$k_2$	Condutividade térmica da corrente 2
$k_3$	Condutividade térmica do banho 3
$k_w$	Condutividade térmica do aço
$L$	Altura do tubo vertical cilíndrico
$L_{serp.}$	Comprimento da serpentina

$m$	Massa
$\underline{m}$	Constante de convecção natural de cilindro vertical
$\dot{m}$	Caudal mássico da água
$\dot{m}_{\text{coag.}}$	Caudal de coagulante a adicionar
$m_A$	Massa da amostra
$m_{\text{BaSO}_4}$	Massa de sulfato de bário
$m_C$	Massa do cadinho
$m_{\text{coag.}}$	Massa de coagulante
$m_{C+A}$	Massa do cadinho com amostra
$m_f$	Massa final
$m_{F+V}$	Massa do vidro de relógio com o filtro de fibra de vidro
$m_{F+V+A}$	Massa do vidro de relógio com o filtro de fibra de vidro e amostra
$\dot{m}_{g_s}$	Caudal mássico de vapor
$m_i$	Massa inicial
$m_{\text{Óleo}}$	Massa de óleo
$\dot{m}_s$	Caudal mássico de vapor
$n$	Número total de volumes adicionados
$N_{\text{titulante}}$	Normalidade do titulante
$Nu$	Número de Nusselt
$P$	Pressão
$P_{\text{anual consumida}}$	Potência anual consumida
$P_{\text{instalada}}$	Potência instalada
$Pr$	Número de Prandtl
$Ps$	Pressão de saturação
$Q$	Calor
$r_e$	Raio externo da serpentina
$R_e$	Resistência térmica da incrustação no exterior dos tubos
$r_i$	Raio interno da serpentina
$R_i$	Resistência térmica da incrustação no interior dos tubos
$t$	Tempo
$T$	Temperatura
$T_1$	Temperatura da corrente 1
$T_2$	Temperatura da corrente 2

$T_3$	Temperatura do banho 3
$T_{ef. areia}$	Tamanho efectivo da areia
$T_{ef. antracite}$	Tamanho efectivo do antracite
$T_{pe}$	Temperatura da parede exterior da serpentina
$u$	Velocidade
$U$	Coeficiente global de transferência de calor
$\dot{v}$	Caudal volumétrico
$V$	Volume
$V_1$	Volume médio dos ensaios da oxidabilidade
$V_{branco}$	Volume de titulante gasto na titulação do branco
$V_{coag}$	Volume de coagulante gasto para a formação de flocos
$V_{ensaio}$	Volume do ensaio no Jar-test
$v_f$	Velocidade de filtração
$V_f$	Volume final
$V_i$	Volume inicial
$V_{titulante}$	Volume gasto de titulante
$V_{toma}$	Volume da toma

## Simbologia grega

$\beta$	Coeficiente volumétrico de expansão de um fluido
$\Delta r$	Espessura
$\Delta T$	Variação de temperatura
$\Delta T_{lm}$	Diferença de temperatura em média logarítmica
$\Delta V$	Variação do volume
$\theta_f$	Diâmetro do filtro
$\mu_1$	Viscosidade da corrente 1
$\mu_2$	Viscosidade da corrente 2
$\mu_3$	Viscosidade do banho 3
$\rho_1$	Massa volúmica da corrente 1
$\rho_2$	Massa volúmica da corrente 2
$\rho_3$	Massa volúmica do banho 3

## Símbolos químicos

$Na^+$	Sódio
$Ca^{2+}$	Cálcio
$Mg^{2+}$	Magnésio
$NaCl$	Cloreto de sódio
$Fe_3O_4$	Magnetite
$Al_2(SO_4)_2$	Sulfato de Alumínio
$NaClO$	Hipoclorito de Sódio
$HClO$	Ácido Hipocloroso
$ClO^-$	Ião Hipoclorito
$OH^-$	Ião Hidróxido
$CO_3^{2-}$	Ião Carbonato
$HCO_3^-$	Ião Bicarbonato
$H_2CO_3$	Ácido Carbónico
$Cl^-$	Ião Cloreto
$KMnO_4$	Permanganato de Potássio
$H_2C_2O_4$	Ácido Oxálico
$BaSO_4$	Sulfato de Bário

# 1 PETIBOL, S. A. – EMBALAGENS DE PLÁSTICO

---

---

O presente capítulo aborda uma informação geral sobre a empresa Petibol, S.A., apresentando todo o segmento industrial, bem como especificações técnicas dos equipamentos, metodologias industriais e custos subjacentes. Este capítulo enuncia as principais problemáticas existentes com consequências a nível industrial.

---



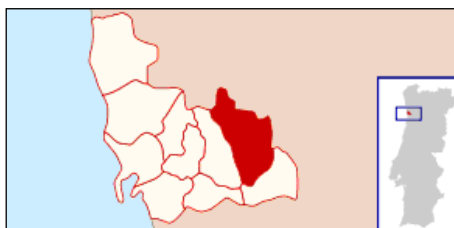
## 1.1 Especificação empresarial

A empresa Petibol – Embalagens de Plástico, S.A. enquadra-se no sector de produção de embalagens plásticas a partir de EPS (Poliestireno Expandido) e EPP (Polipropileno Expandido). A Petibol localiza-se na Avenida da Bela Vista, nº 305, pertencente ao Lugar de Araújo, na freguesia de Leça do Balio, no concelho de Matosinhos, encontrando-se algumas informações referentes à empresa no seu website [www.petibol.pt](http://www.petibol.pt).

A empresa possui um período laboral de 24h realizado por três turnos, labutando anualmente num período de cerca de 220 dias, com uma semana de férias no mês de Agosto e uma outra semana no mês de Dezembro. A empresa tem o seu mercado voltado para a produção de embalagens e componentes técnicos, tais como cadeirinhas de bebés e capacetes de protecção.

### 1.1.1 Enquadramento Espacial

A freguesia de Leça do Balio, situa-se a Este do concelho de Matosinhos, como se pode verificar pela **Figura 1.1**.



**Figura 1.1.** Localização espacial da freguesia de Leça do Balio <sup>[1]</sup>.

De acordo com dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) no ano de 1999, Leça do Balio era uma das freguesias que possuía uma ocupação territorial considerável, bem como uma predominância de residentes possuidores de um nível de instrução elevado, inseridos em actividades do sector terciário com boas remunerações <sup>[2]</sup>.

O aglomerado populacional residente em Leça do Balio corresponde a 15673 habitantes, segundo os resultados dos Censos para o ano 2001, realizado por parte do INE <sup>[3]</sup>.

Um dos grandes atributos de Leça do Balio caracteriza-se na sua elevada acessibilidade, visto estar integrada numa grande extensão viária, como é possível verificar na **Figura 1.2**, bem como possuir a circulação da via ferroviária e a do metro do Porto.



**Figura 1.2.** Mapa da rede viária principal [4].

A empresa Petibol encontra-se situada junto à estação de metro de Araújo, bem como da linha ferroviária, que serve como uma via de transporte de mercadorias.

### 1.1.2 Perspectiva histórica

A empresa foi fundada em 1980 pelos sócios Jorge Araújo, Carlos Monteiro, Luís Monteiro e Emmanuel Falisse, comercializando para diferentes sectores tais como a área alimentar, electrónica e eléctrica, e civil, tendo exclusivamente como matéria-prima o EPS. No ano de 2000, a empresa muda de instalações, estabelecendo-se em Leça do Balio, melhorando a empresa com um conjunto de sofisticados equipamentos no sector de actividade. Posteriormente, no ano de 2002, devido ao desenvolvimento de um projecto em co-autoria com uma empresa norueguesa e empresas portuguesas, a Petibol iniciou a sua actividade recorrendo ao EPP [5].

### 1.1.3 Produtos e Serviços

A matéria-prima utilizada na fabricação dos produtos plásticos corresponde ao EPS e ao EPP. O EPS caracteriza-se por ser constituído por 98% de ar e 2% de massa, advindo da polimerização do estireno em água, sofrendo expansão a partir de um agente expensor (pentano), podendo aumentar o seu volume inicial em 50 vezes, como é comparável na **Figura 1.3** [5], [6].



**Figura 1.3.** Comparação entre a matéria-prima antes e após sofrer uma pré-expansão <sup>[7]</sup>.

No ano de 1929 a BASF realizou a primeira síntese do estireno, sendo produzido o poliestireno em escala industrial um ano depois. A produção do poliestireno expandido só aconteceu cerca de 20 anos depois, em 1952 <sup>[7]</sup>.

O EPS é um material largamente utilizado no ramo da construção civil, bem como na produção de embalagens, devido a apresentar vantajosas propriedades <sup>[8]</sup>:

- material ecológico, sendo 100% reciclável;
- material leve;
- isolante térmico;
- económico;
- elevada resistência mecânica;
- não higroscópio.

O EPP, tal como o EPS, deriva de uma reacção de polimerização mas utilizando como matéria-prima o propileno, que posteriormente sofre uma expansão. Este material foi desenvolvido em 1954 por Natta <sup>[9], [10]</sup>.

Algumas das principais propriedades associadas ao EPP são as seguintes <sup>[9], [11]</sup>:

- capacidade de recuperação e absorção de energia, considerado um ótimo isolante térmico;
- alta resiliência;
- material leve;
- grande capacidade de absorção de impactos;
- material amigo do ambiente;
- processo de reciclagem aplicável a 100% do material, existindo diversos métodos de processo;
- facilidade de limpeza e esterilização;
- resistência ao contacto com compostos químicos e óleos;
- quimicamente inerte.

As propriedades deste material, tais como a alta absorção de choques e o óptimo isolamento térmico, permitem que haja uma grande aplicabilidade em diferentes áreas, incluindo <sup>[12], [13]</sup>.

- componentes automóveis;
- embalagens;
- componentes de equipamentos;
- actividades de lazer;
- equipamentos de segurança.

A Petibol desenvolveu marcas próprias, estando intimamente ligadas ao sector da construção civil e obras públicas. Uma dessas marcas, denominada de *IsolTECTO*, possibilita um isolamento ventilado nas coberturas, variando a sua largura consoante o tipo de telha utilizado. Este produto apresenta vantagens no que toca a isolamento térmico, bem como impermeabilidade à água e resistência à compressão, entre outros <sup>[5]</sup>.

O *Betisol* corresponde igualmente a uma marca da empresa, sendo desenvolvida a partir de material reciclado e material virgem. Este material caracteriza-se, devido ao seu tratamento físico-químico, por ser um material inerte e leve com capacidade de isolamento, permitindo ainda uma maior facilidade de adesão ao cimento, aquando da produção de betão <sup>[5]</sup>.

#### **1.1.4 Processo de fabrico**

A empresa é constituída por três áreas, uma referente ao fabrico dos moldados, uma outra caracterizada pelo fabrico do produto reciclado e por fim, uma área destinada à produção de blocos e corte de placas.

##### **1.1.4.1 Produção dos moldados**

O processo de produção inicia-se com uma pré-expansão da matéria-prima com o auxílio do pentano e a partir do contacto com o vapor de água. Posteriormente, o material é estabilizado nos silos, como demonstrado na **Figura 1.4**.



**Figura 1.4.** Fotografia dos silos onde ocorre a fase de estabilização do material.

Após a fase de estabilização, o material é aspirado, tendo como destino as máquinas de moldados, onde é injectado em moldes projectados previamente. Com o calor cedido pelo vapor, o material é novamente expandido, estando delimitado pelo formato do molde. O material produzido é avaliado, sendo reencaminhado para a trituração no caso de apresentar não conformidades, e embalado no caso de possuir todos os pré-requisitos.

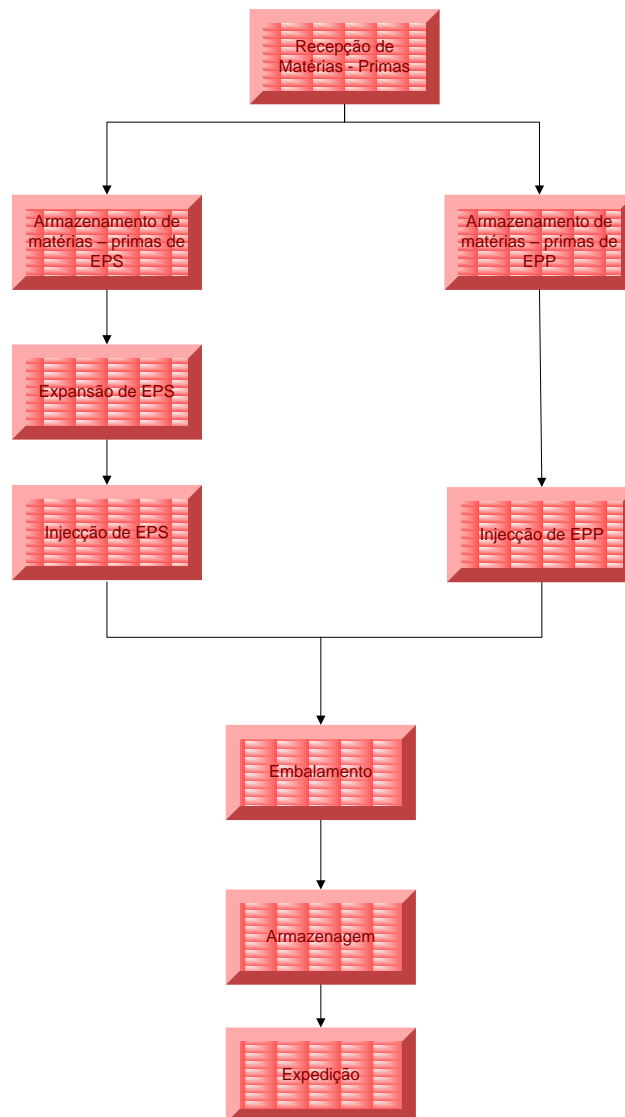
No que diz respeito às peças de EPP, estas quando possuem densidade inferior a  $50 \text{ kg/m}^3$ , são encaminhadas para uma estufa à temperatura de  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , por um período de 8h, tendo em vista a estabilização do material. No caso do material apresentar uma densidade superior a  $50 \text{ kg/m}^3$ , a sua estabilização é realizada por um período de 8h à temperatura ambiente.

Na Petibol encontram-se a laborar dezassete máquinas relativas ao processamento de EPS, das quais apenas duas máquinas se destinam ao EPP. Na **Figura 1.5** encontram-se representadas algumas das máquinas de moldados.



**Figura 1.5.** Fotografia da produção de peças em EPS.

Na **Figura 1.6** é apresentado um fluxograma respeitante ao processo de fabrico das peças moldadas.



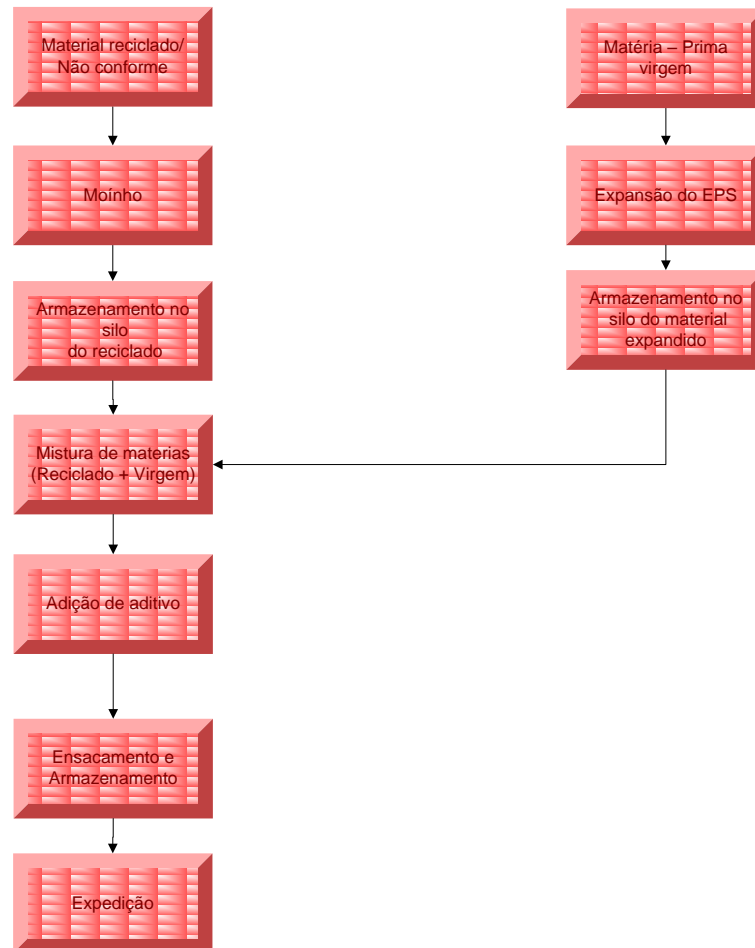
**Figura 1.6.** Fluxograma do processo de fabrico de peças moldadas.

#### 1.1.4.2 Produção de *Betisol*

O material *Betisol*, como mencionado anteriormente, advém da mistura de material reciclado com material virgem. O material reciclado deriva de três diferentes fontes, sendo proveniente:

- de peças que não apresentem conformidades para posterior comercialização;
- de material doado pelos clientes da Petibol em bom estado;
- da recolha de material, de acordo com a Sociedade Ponto Verde (SPV).

Após trituração no moinho, é adicionado um aditivo líquido, com o intuito de facilitar a adesão do *Betisol* ao cimento. Na **Figura 1.7** é ilustrado o fluxograma do processo produtivo do *Betisol*.



**Figura 1.7.** Fluxograma da produção de *Betisol*.

#### 1.1.4.3 Produção de blocos e zona de corte

A secção de produção de blocos opera casualmente, de acordo com o volume de encomendas. Estes blocos destinam-se maioritariamente à construção civil, produzindo peças em EPS, tais como caixilharia de isolamento térmico de edifícios, flutuadores, entre outros.

Tal como nas máquinas de moldados, a matéria é transportada para a máquina de blocos por aspiração, sofrendo uma nova expansão a partir do calor libertado pelo vapor. A configuração do bloco é delimitada pela forma da própria máquina de blocos, figurada na **Figura 1.8**.



**Figura 1.8.** Máquina de produção de blocos.

Após a produção de blocos, alguns destes são conduzidos até às máquinas de corte, como se encontram apresentadas na **Figura 1.9**, sendo cortados de acordo com a espessura pretendida. O corte é levado a cabo pela presença de fios eléctricos, em que pela passagem de corrente eléctrica, induzem o seu aquecimento baseando-se no efeito de Joule.



**Figura 1.9.** Máquinas de corte de placas.

Os produtos fabricados são levados para embalagem e posterior armazenamento. Todo o ciclo produtivo dos blocos encontra-se ilustrado no fluxograma apresentado na **Figura 1.10**.

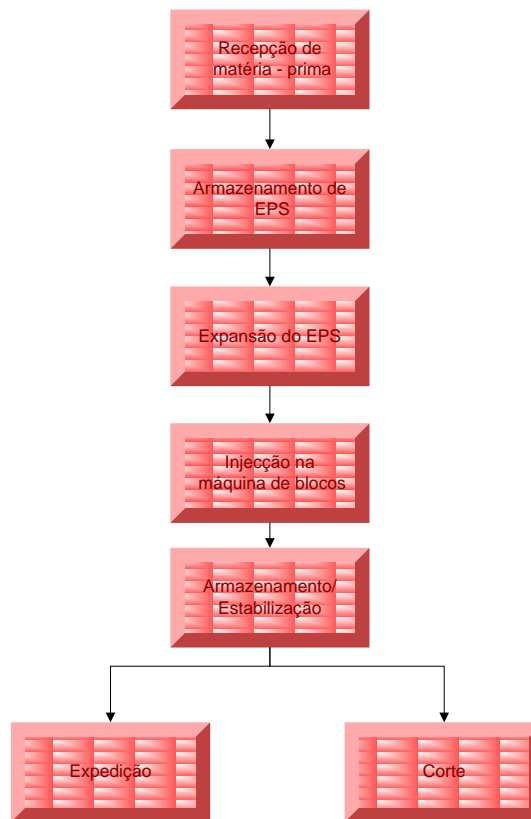


Figura 1.10. Fluxograma da produção de blocos.

### 1.1.5 Estrutura Organizacional

A empresa é composta por uma equipa com cerca de 50 trabalhadores, divididos pelo sector de produção, administrativo e pelo sector comercial.

### 1.1.6 Compromisso de qualidade

A Petibol possui como um dos seus lemas, a constante obtenção de um produto de qualidade comprovada. Deste modo, as normas de qualidade são regidas pelo Sistema de Gestão de Qualidade (SGQ), encontrando-se implementado em toda a organização empresarial, trabalhando como um conjunto de elementos de forma a estabelecer e cumprir a política e os objectivos estabelecidos. A implementação dos requisitos do SGQ, segundo a NP ISO 9001:2008, promove a confiança no produto e/ou serviço por parte do cliente, uma constante promoção no desenvolvimento de metodologias de produção e na prevenção de lacunas que possam ocorrer <sup>[5]</sup>.

### 1.1.7 Consciencialização ambiental

A Petibol compromete-se num cuidado sempre presente pelo meio ambiente, verificando-se, pela análise ao ciclo de vida dos produtos produzidos, uma ausência de libertação de quaisquer compostos que afectem o meio ambiente. Devido às características próprias da matéria-prima, a proliferação de microrganismos não é viável, bem como não ocorre a contaminação de solos e da água <sup>[5]</sup>.

A matéria-prima possui uma natureza térmica e isolante, advindo assim vantagens a nível de custos associados ao aquecimento e arrefecimento de edifícios que empreguem este material <sup>[5]</sup>.

A empresa possui a certificação ISO 14001:2004, de acordo com o Sistema de Gestão Ambiental (SGA), comprometendo-se a uma gestão empresarial com base em boas práticas ambientais.

Uma das medidas implementadas pela Petibol insere-se na política de reciclagem de material. Esta política visa a reciclagem do EPS, visto este ser um material 100% reciclável. A Petibol obtém a sua acreditação nesta área em 2003, por parte da SPV. Assim, a Petibol possui autorização emitida pelo Ministério do Ambiente, para a recolha do material junto de entidades utilizadoras de EPS. Um dos outros atributos da Petibol, reflecte-se no total reaproveitamento de peças não conformes, direccionando-as para a produção de produtos da gama da Petibol <sup>[5]</sup>.

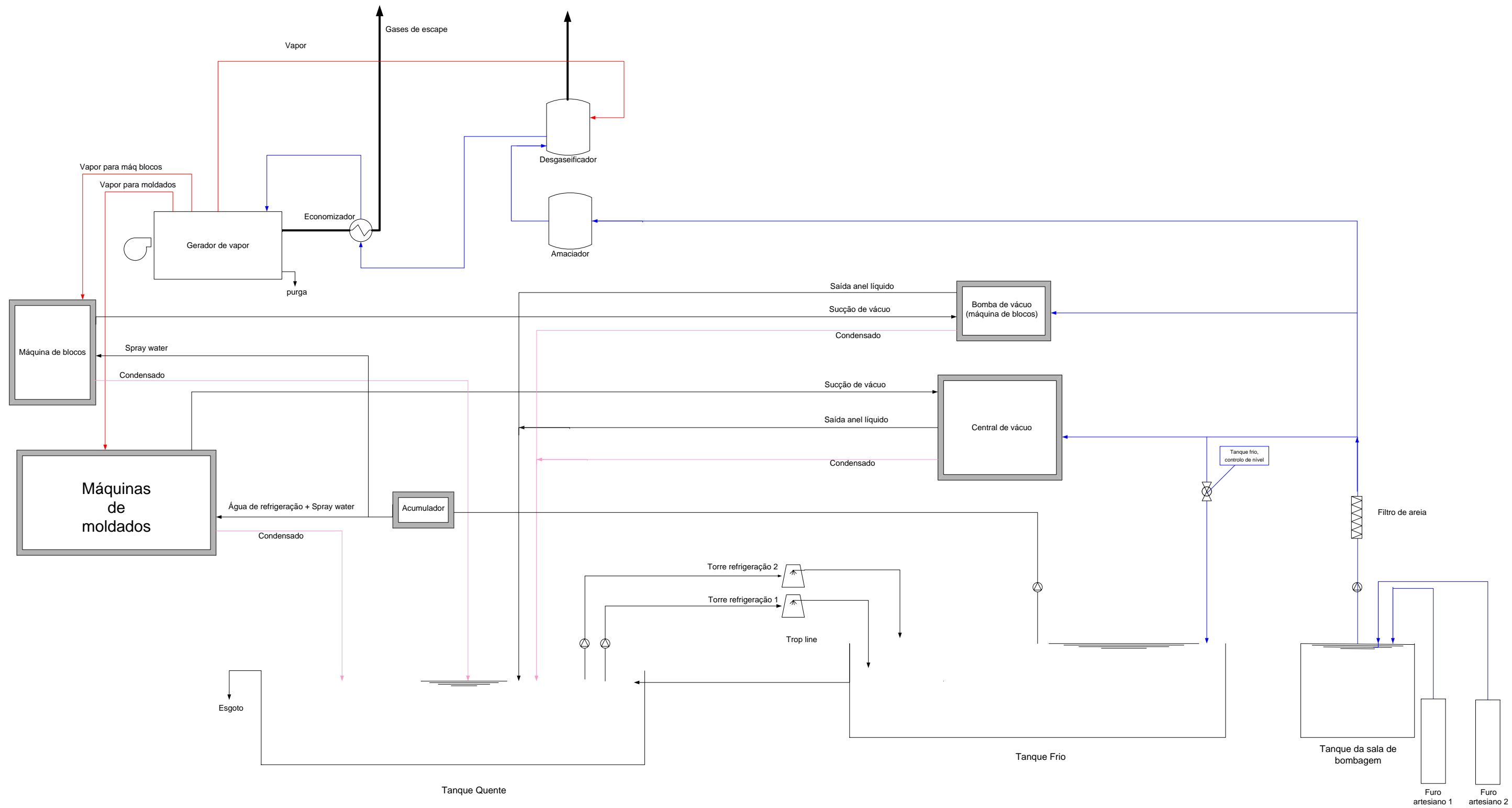


Figura 1.11. Esquema global da unidade industrial.



## 1.2 Instalação industrial

Na **Figura 1.11** encontra-se representado o esquema referente à unidade industrial da Petibol, tendo como áreas auxiliares ao seu normal funcionamento a Sala de Bombagem, a Sala da Caldeira e a Sala Técnica. Estas encontram-se descritas de forma pormenorizada no **Anexo A**.

### 1.2.1 Sala de Bombagem

A Central de Bombagem é constituída essencialmente por um tanque de bombagem, um filtro de areia e duas bombas com balão. O tanque de bombagem é alimentado através de três furos artesianos, embora um deles esteja fora de serviço, recorrendo como meio hídrico a um lençol freático situado próximo da empresa. O transporte da água, desde os furos artesianos até ao tanque de bombagem, é levado a cabo por duas bombas, como é visível pelo esquema da Sala de Bombagem (**Figura A.1**), num ciclo diário de 12 horas, encontrando-se ligado a um sistema de controlo de pressão. A Sala de Bombagem possui um acumulador que funciona a uma pressão de 4,5 bar.

Em relação ao filtro de areia, este situa-se a jusante do tanque de bombagem, tendo a areia como meio filtrante. O filtro de areia tem como principal objectivo a retenção dos sólidos em suspensão presentes na água. Neste equipamento encontra-se acoplado um sistema electrónico de lavagem do filtro em contra-corrente, realizando-se este procedimento durante um período diário de 40 minutos.

A água à saída do filtro de areia é subdividida, sendo conduzida até à Sala da Caldeira, à Sala Técnica e ao Sector de Blocos.

### 1.2.2 Sala da Caldeira

A Sala da Caldeira tem como principal finalidade a criação de vapor para o fabrico das peças moldadas e produção de blocos. A Sala da Caldeira comporta diferentes equipamentos que se passa a descrever:

#### 1.2.2.1 Amaciador

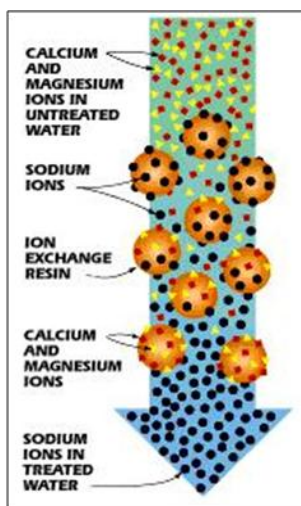
O amaciador, também vulgarmente conhecido por descalcificador, é composto por resina catiónica – Ciclo sódio (Na<sup>+</sup>), realizando-se um processo de permuta iónica<sup>[14]</sup>.

O amaciador tem como finalidade a remoção da dureza da água que é alimentada à caldeira.



**Figura 1.12.** Fotografia da unidade de permuta iónica existente na Petibol.

A dureza da água é principalmente causada pela presença dos cationes cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). A resina catiónica – Ciclo Sódio possibilita a troca do catione sódio, presente na resina, pelos cationes cálcio e magnésio contidos na água, tal como é ilustrado na **Figura 1.13**, existindo também a possibilidade de remoção do ferro e do manganês na água, caso estes se encontrem na forma reduzida <sup>[15]</sup>.



**Figura 1.13.** Esquema da permuta de iões realizada entre a resina catiónica e os iões cálcio e magnésio <sup>[16]</sup>.

A reacção de permuta entre a resina catiónica e os iões a trocar é representada da seguinte forma:



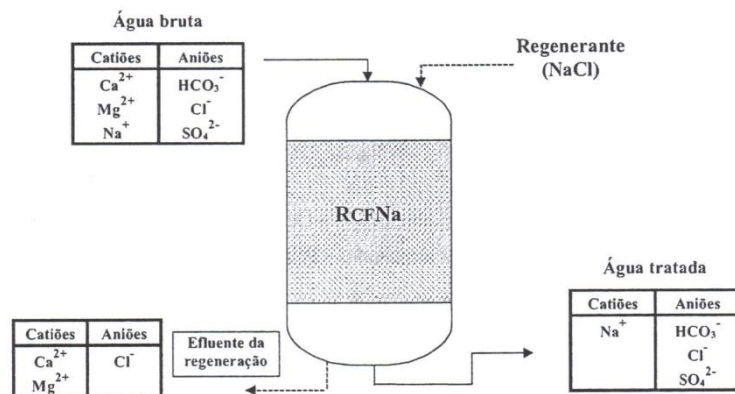
Nesta expressão a resina é designada por R, o catione móvel corresponde a  $C_1$  e por fim,  $C_2A$  equivale a um sal existente na solução, sendo neste particular caso, os cationes causadores de dureza na água <sup>[17]</sup>.

O ciclo de funcionamento do permutador de iões engloba duas etapas, sendo elas <sup>[17]</sup>:

- permuta ou serviço – a solução a permutar passa pelo leito da resina, trocando assim os iões;
- regeneração – nesta fase a resina é regenerada, readquirindo a sua capacidade de permuta. Esta etapa é subdividida nas seguintes fases:
  - esponjamento – esta fase é realizada a partir da fluidização do leito com água em contra-corrente, por um período de 10 a 15 minutos, permitindo uma expansão do leito entre 30 a 50% do seu volume;
  - regeneração – esta operação é realizada a partir da passagem de uma solução regenerante, que permite a reposição dos iões trocados na resina;
  - lavagem – esta operação é efectuada tendo em vista a eliminação dos sais permutados e a remoção do excesso de regenerante.

No que diz respeito à solução regenerante, esta corresponde a uma solução de cloreto de sódio (NaCl), com concentração de 10%. O amaciador existente na empresa contém cerca de 300 L de resina catiónica, e é regenerado com 30 L de NaCl, por um período de 45 minutos. A regeneração é executada de 24 em 24 horas, tendo períodos de lavagem entre 15 e 10 minutos. Todas estas informações foram prestadas pelo responsável do tratamento à caldeira, que confirmam as condições óptimas de funcionamento [17]. Por outro lado, um problema relacionado com este amaciador diz respeito ao facto do período de vida útil da resina ser muito baixo, o que, segundo o responsável do tratamento à caldeira, se deve ao excesso de iões de ferro na forma reduzida, inviabilizando a utilização da resina em pouco tempo, devido à saturação da resina.

Na **Figura 1.14** é apresentado um esquema representativo da unidade de amaciamento da água.



**Figura 1.14.** Esquema de uma unidade de amaciamento de água [17].

### 1.2.2.2 Desgaseificador

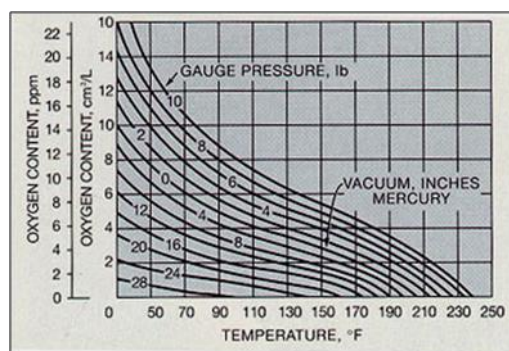
Após o tratamento de amaciamento da água, esta é alimentada a um desgaseificador térmico, como pode ser observado na **Figura 1.15**. A inserção deste equipamento tem por objectivo a remoção dos gases dissolvidos na água, devido à sua presença potenciar processos corrosivos no equipamento, particularmente o oxigénio.



**Figura 1.15.** Fotografia do equipamento de desgaseificação.

O processo de desgaseificação é baseado nas leis de Henry-Dalton, bem como nas leis de Charles, em que <sup>[14], [17]</sup>:

- a solubilidade de qualquer gás é directamente proporcional à pressão parcial do gás no meio envolvente;
- a solubilidade de qualquer gás é inversamente proporcional ao aumento da temperatura, como se encontra representado na **Figura 1.16**.

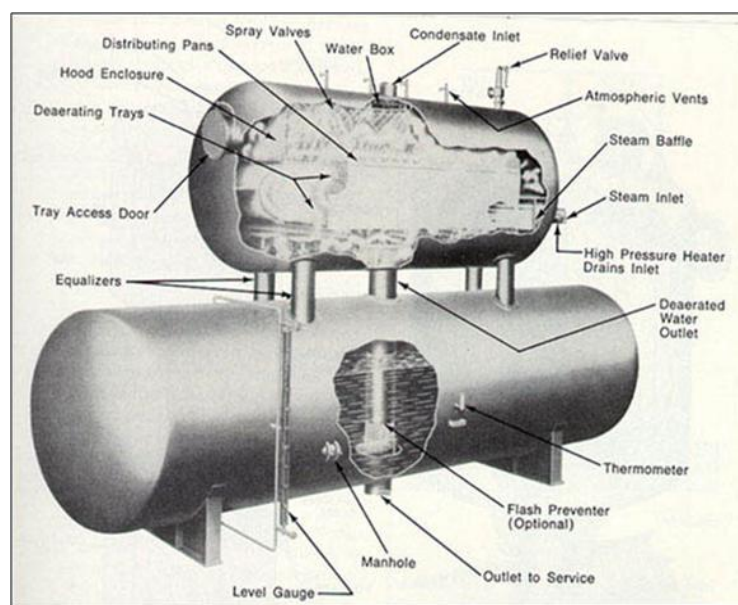


**Figura 1.16.** Gráfico ilustrativo da solubilidade do oxigénio em função da temperatura <sup>[14]</sup>.

Um outro aspecto existente reflecte-se numa maior eficiência de remoção de gases, quando se está em presença de um aumento da turbulência e da área de transferência <sup>[14], [17]</sup>.

De modo a existir uma eficaz remoção de oxigénio e de outros gases que promovem a corrosão, é necessário incluir no sistema de desgaseificação um produto químico que controle a remoção de oxigénio [14].

O desgaseificador presente na Petibol é alimentado pela água de compensação da caldeira, proveniente do amaciador, pelos condensados da linha de vapor e pelo vapor. O vapor produzido pela caldeira é mergulhado na água contida no desgaseificador pela zona inferior, como se pode observar pelo esquema da Sala da Caldeira (**Figura A.2**). Este vapor leva consigo o produto químico inserido no circuito da água, após passagem da água no desgaseificador, que proporciona uma protecção dos equipamentos aos efeitos corrosivos. Para além da acção de remoção dos gases presentes na água, o desgaseificador permite também um aquecimento da água, atingindo temperaturas iguais às do ponto de ebulição, de acordo com a pressão de funcionamento do equipamento. O intervalo de temperaturas de funcionamento dos desgaseificadores situa-se entre 105 °C e 120 °C, para uma pressão ligeiramente superior à pressão atmosférica. O desgaseificador presente na Petibol labora a uma pressão relativa de 0,2 bar, correspondendo a uma temperatura de operação de 105 °C. O desgaseificador é do tipo horizontal, tal como o do exemplo apresentado na **Figura 1.17**, sendo composto por um reservatório, bicos de pulverização, spray de água, pratos de distribuição, entre outros [14].



**Figura 1.17.** Representação de um desgaseificador do tipo horizontal [14].

### 1.2.2.3 Economizador

O economizador é caracterizado pela sua capacidade de promover a troca de calor entre os gases de escape e a água de alimentação à caldeira, sendo assim reaproveitado o poder calorífico dos gases de combustão, a uma pressão próxima da pressão atmosférica [18]. Este equipamento não só acarreta benefícios no que diz respeito à eficiência energética, mas também minimiza o choque térmico entre a água de alimentação à caldeira e a água existente na sua carcaça [19].

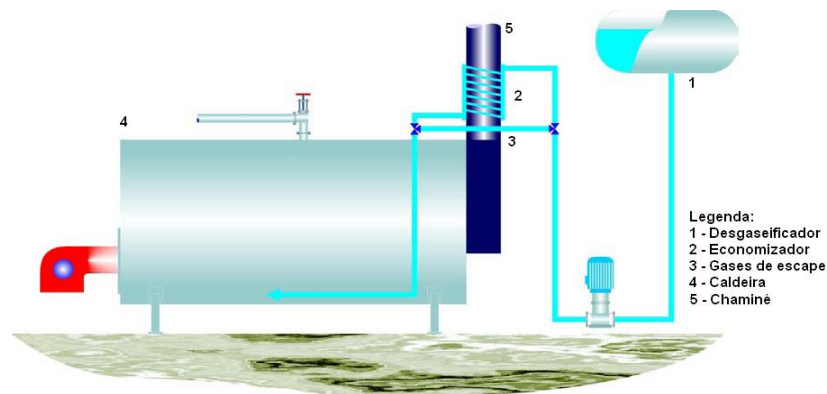
Através da recuperação do calor emanado pelos gases de combustão, é possível poupar até 5% do combustível [20].

Os gases de combustão do economizador da empresa, tal como é apresentado na **Figura 1.18**, são oriundos da queima do gás natural, e posteriormente fornecem calor à água antes da sua entrada na caldeira.



**Figura 1.18.** Fotografia do economizador presente na Petibol.

Na **Figura 1.19** encontra-se representado um esquema que se assemelha à posição espacial do economizador e do desgaseificador, presentes na Petibol. Tal como se encontra visível, o economizador é alimentado com a água após um processo de desgaseificação, realizando-se nesse local a permuta de calor entre a água de alimentação e os gases de escape.



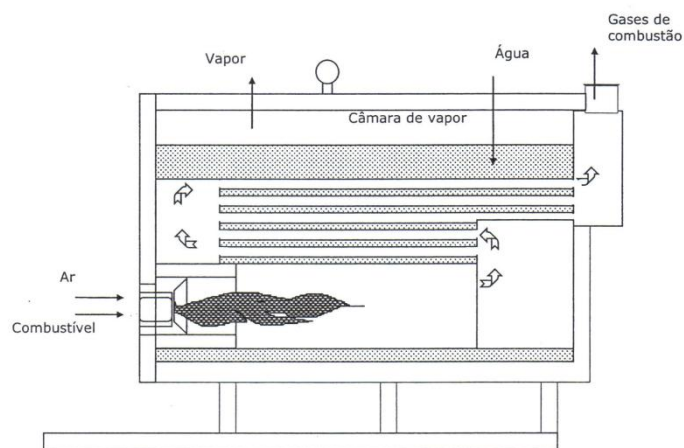
**Figura 1.19.** Ilustração do posicionamento dos equipamentos na Sala da Caldeira [20].

### 1.2.2.4 Caldeira

A caldeira existente na Petibol, apresentada na **Figura 1.20**, corresponde a uma caldeira pirotubular. Este tipo de caldeira é caracterizada pela circulação dos gases de combustão realizar-se no interior dos tubos, enquanto que a água e o vapor se situam entre o corpo da caldeira e os tubos, conforme é observável na **Figura 1.21**, sendo a convecção o principal mecanismo de transferência de calor. O corpo da caldeira possui um espaço superior destinado à ocupação do vapor formado, sendo denominado por câmara de vapor [17], [18].



**Figura 1.20.** Fotografia da caldeira presente na Petibol.



**Figura 1.21.** Esquema representativo de uma caldeira pirotubular [17].

A caldeira de tubos de fumo existente na Petibol possui uma superfície de 125 m<sup>2</sup>, com três passagens nos tubos, operando a uma temperatura de 160 °C e pressão relativa entre 6,5 e 7,2 bar correspondendo, por isso, a uma caldeira de baixa-pressão. A caldeira contém controladores de nível, tendo em vista a monitorização da altura da água, sendo

mantido o seu nível através da bomba de alimentação. Para além de um controlo do nível da água, existe um controlo da pressão, surtindo efeito no sistema de queima <sup>[17]</sup>. No que concerne ao queimador, este é do tipo modulante, correspondendo o gás natural ao combustível fornecido.

Neste tipo de equipamento é necessário um cuidado suplementar na qualidade da água, de modo a que não ocorra a formação de mecanismos corrosivos e a produção de vapor contaminado, entre outros. Estes cuidados têm como objectivo um funcionamento da caldeira em óptimas condições operatórias, assim como a segurança dos operadores <sup>[17]</sup>. Deste modo, a realização de um tratamento interno é imprescindível, existindo actualmente dois grupos de tratamento, sendo um à base de fosfatos e o outro, isento de fosfatos.

De acordo com informações prestadas pelo responsável do tratamento à caldeira, esta possui um tratamento interno à base de fosfatos, mais concretamente um tratamento “fosfato-pH coordenado”. Este tratamento baseia-se num processo de precipitação, sendo o tratamento mais vulgarmente adoptado para caldeiras <sup>[21]</sup>.

Uma das razões que leva a que seja implementado este tratamento em detrimento dos restantes, corresponde à insolubilidade do fosfato de cálcio comparativamente ao carbonato de cálcio, permitindo a eliminação do problema da existência de depósitos de carbonato de cálcio <sup>[14], [17]</sup>. A adição do ião fosfato possibilita a formação de passivação da superfície metálica, exercendo uma camada protectora contra processos corrosivos <sup>[17]</sup>.

Este tipo de tratamento apresenta uma maior eficiência no caso da água apresentar valores de alcalinidade que proporcionem o fenómeno da precipitação <sup>[14], [17]</sup>.

Devido à concentração do ião cálcio ser variável, é recomendável a adição de um excedente de fosfatos, sendo designado como o residual do produto <sup>[17]</sup>.

O tratamento com fosfatos, como todos os outros, apresenta vantagens e desvantagens, encontrando-se apresentadas algumas delas na **Tabela 1.1** <sup>[21], [22]</sup>.

Este tratamento deve ser efectuado no interior da caldeira, tal como é referido na tabela, embora essa situação não esteja a ser aplicada na caldeira da Petibol, sendo o produto químico adicionado no circuito, a montante do economizador.

**Tabela 1.1.** Vantagens e inconvenientes inerentes ao tratamento com fosfatos.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"><li>• Custos relativamente baixos;</li><li>• Controlo da quantidade residual de produto.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formação de lamas;</li><li>• Uma insuficiente presença de produto ou uma diminuição de pH origina a formação de duras incrustações, sendo elas isolantes e aderentes;</li><li>• Uma excessiva presença de produto origina a precipitação de compostos que formam deposições isolantes, sendo eles o fosfato de cálcio, o fosfato de ferro, o fosfato de magnésio e o fosfato trissódico;</li><li>• A presença de elevado teor de ferro provoca uma ligação entre este e as lamas, resultando em deposições isolantes;</li><li>• A inserção do produto deve ser realizado no interior, de forma a evitar deposições e entupimentos na linha de alimentação da água à caldeira;</li><li>• Um aumento do consumo de combustível poderá ocorrer, caso se verifique deposição sobre a superfície de troca de calor.</li></ul>

Os precipitados formados no interior da caldeira são removidos na água da purga, sendo esta realizada diariamente, por parte da Petibol, de 30 em 30 minutos, por um período de 8 segundos. Este período de purga pode ser ajustado consoante o valor de sólidos presentes na água purgada.

À caldeira da Petibol, para além do tratamento com fosfatos, é adicionado um anti-espuma e um composto que permite a redução do oxigénio, sendo este levado pelo vapor para o desgaseificador, como foi mencionado anteriormente, tendo em vista a protecção do desgaseificador. O agente anti-espuma adicionado evita que ocorra a formação de espuma no interior da caldeira. A formação de espuma pode levar a que esta seja transportada pelas linhas de distribuição de vapor e conseqüentemente, causar uma diminuição da taxa de vaporização <sup>[23]</sup>.

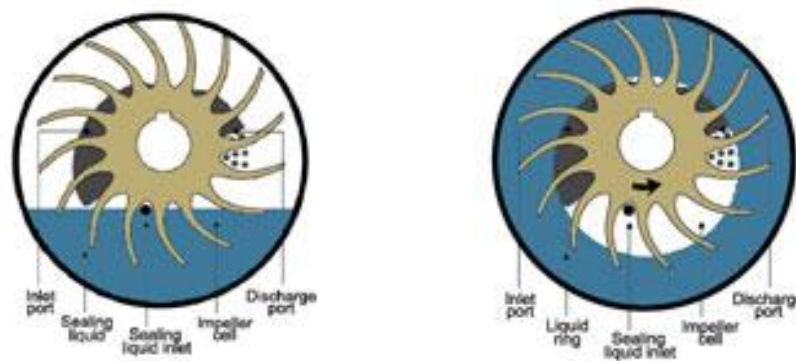
### 1.2.3 Sala Técnica

A Sala Técnica é composta por três zonas distintas, uma dedicada à produção de vácuo, uma outra que permite a compressão do ar exterior e por fim, uma zona localizada na parte exterior da sala, que possui a funcionalidade de refrigeração da água proveniente do tanque da água quente. Estas áreas encontram-se apresentadas detalhadamente na **Figura A.3**.

#### 1.2.3.1 Central de vácuo

Esta central de vácuo é composta por duas bombas de água e quatro bombas de vácuo, sendo a água o meio de criação de vácuo, regendo-se pelo princípio do anel líquido. As bombas de vácuo possuem uma carcaça onde ocorre a passagem da água, permitindo que o rotor equipado com lâminas gire originando-se a força centrífuga. Esta força impulsiona a água contra a parede do corpo cilíndrico, formando-se assim um anel e a criação de vácuo numa das entradas da bomba, encontrando-se elucidado na **Figura 1.22**.

[24], [25]



**Figura 1.22.** Princípio do funcionamento do anel líquido numa bomba de vácuo [25].

O vácuo produzido na central de vácuo tem como objectivo o de proporcionar o arrefecimento dos moldes nas máquinas de moldados. Ao longo da linha de vácuo, existem dois acumuladores de vácuo que não se encontram no interior da Sala Técnica.

#### 1.2.3.2 Central de ar comprimido

A central encontra-se equipada com um sistema de três compressores, estando ilustrados na **Figura 1.23**.



**Figura 1.23.** Apresentação dos três compressores pertencentes à Central de ar comprimido.

Os compressores têm como função comprimir o ar proveniente do exterior. Este ar comprimido é aplicado para diversos fins no interior da empresa tais como na ejeção das peças contidas nos moldes das máquinas e no accionamento de electroválvulas, entre outros. Para além dos compressores, a central de ar comprimido possui dois acumuladores de ar e um secador de ar, não estando estes localizados no interior da Sala Técnica.

O problema do funcionamento dos compressores resulta da água formada aquando da compressão do ar. Esta água arrasta consigo os óleos contidos no interior dos compressores e devido às suas características, não pode ser despejada na descarga industrial sendo assim armazenada, tal como se encontra ilustrado na **Figura 1.24**.



**Figura 1.24.** Armazenamento da água contendo óleo lubrificante.

### **1.2.3.3 Central de água de refrigeração**

A central de refrigeração é constituída por duas torres de arrefecimento, ilustradas na **Figura 1.25**, pelas bombas de água e bombas de circulação.



**Figura 1.25.** Fotografia das duas torres de arrefecimento.

Na parte inferior das torres encontram-se os dois tanques de água, um contendo água quente e o outro que possui água fria. O tanque de água quente, apresentado na **Figura 1.26**, é o local de confluência dos condensados (máquinas de moldados, máquina de blocos, bomba de vácuo e central de vácuo), da água à saída do anel líquido e de algum excedente de água existente no tanque de água fria.

Parte desta água é arrefecida nas torres de arrefecimento, sendo transferida para o tanque de água fria. O tanque de água quente quando apresenta um excedente de água transborda, sendo essa água conduzida para o esgoto. No que diz respeito ao tanque de água fria, tal como foi mencionado anteriormente, a água provém do arrefecimento por parte das torres de arrefecimento, existindo ainda a possibilidade de recolha de água do tanque de bombagem para o tanque de água fria, caso exista uma insuficiente quantidade de água no tanque. Caso se verifique o contrário isto é, exista um excesso de água fria no tanque de água fria, este é transbordado para o tanque de água quente.



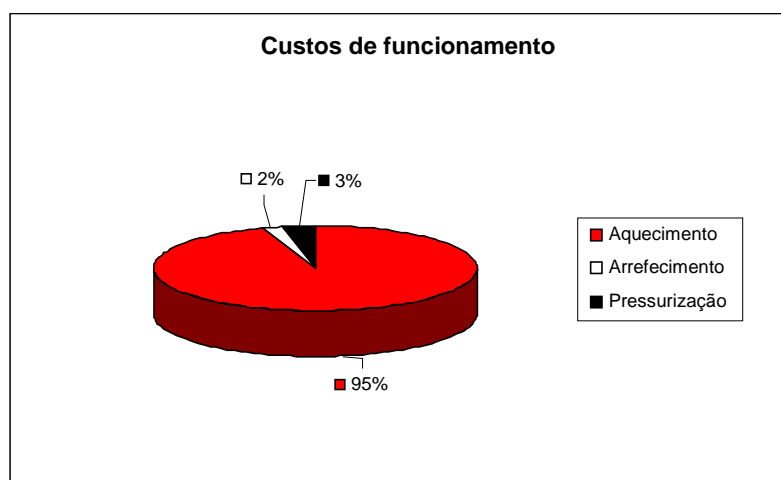
**Figura 1.26.** Saída de água de arrefecimento para o tanque de água quente.

O circuito de arrefecimento apresenta uma camada viscosa, sendo especialmente visível à saída dos tubos dos condensados, bem como nos filtros da torre de arrefecimento.

Um dos problemas resultantes da utilização de torres de arrefecimento é a possibilidade da proliferação da bactéria *Legionella*, devendo-se a uma incorrecta e/ou ineficiente limpeza dos filtros das torres [26], [27].

### 1.3 Custos de funcionamento

Os custos de funcionamento do circuito da água dependem essencialmente do aquecimento da água ocorrido na Sala da Caldeira, do arrefecimento da água por parte das torres de arrefecimento e pela pressurização da água ao longo de todo o circuito do processo. Na **Figura 1.27** é visível um maior peso de custos por parte do aquecimento da água em que por seu turno, os menores custos estão subjacentes ao processo de arrefecimento da água contida no tanque de água quente. Há a salientar que todos os custos são referentes ao ano de 2009, correspondendo a 331.367,26 €. No **Anexo D.2** encontram-se detalhados os dados que conduziram à determinação dos presentes custos.



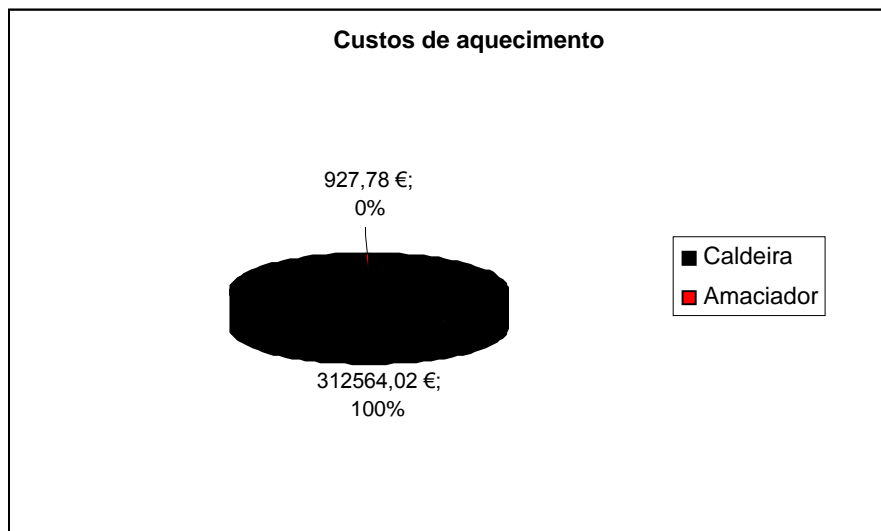
**Figura 1.27.** Distribuição dos custos de funcionamento do circuito de água.

#### 1.3.1 Custos de aquecimento

Os custos associados ao aquecimento da água correspondem aos custos de funcionamento do amaciador e da caldeira, tendo por base informações prestadas pela empresa. As duas bombas existentes na Sala da Caldeira também se encontram contabilizadas como custo de aquecimento, pois embora somente pressurizem a água, a

sua presença é essencial para conduzir ao aquecimento deste recurso. A nível de custos da caldeira, estes englobam os gastos relativos aos produtos químicos administrados, a manutenção da caldeira e do trabalho realizado ao queimador. No que toca ao amaciador, este possui somente custos a nível das resinas catiónicas de ciclo  $\text{Na}^+$  e de regenerante.

A partir da **Figura 1.28**, é possível verificar os pesos dos equipamentos relativos aos custos de funcionamento, sendo a parcela de consumo de gás a que mais contribui para o custo associado ao aquecimento, possuindo esta operação um custo de 313.491,80 €.



**Figura 1.28.** Custos inerentes ao aquecimento de água.

### 1.3.2 Custos de arrefecimento

Os custos de arrefecimento abrangem as duas torres de arrefecimento, as duas bombas de água e as duas bombas de circulação. Embora as bombas por si só não possibilitem o arrefecimento, estas são equipamentos fundamentais para o arrefecimento da água por parte das torres de arrefecimento. O arrefecimento da água em 2009 envolveu um gasto de 6.589,13 €.

### 1.3.3 Custos de pressurização

No que diz respeito aos custos de pressurização, estes são dirigidos às bombas que possibilitam a circulação da água ao longo processo, excluindo as já contabilizadas nos custos de aquecimento e arrefecimento. A pressurização corresponde ao segundo maior gasto ao nível do circuito da água, correspondendo a um valor de 11.252,13 €.

## 2 DANOS DA ÁGUA SOBRE OS EQUIPAMENTOS

---

Neste capítulo são elucidadas as consequências nefastas de uma má qualidade da água sobre os equipamentos industriais, bem como os problemas mais habituais a nível industrial. De forma a minimizar sequelas nos equipamentos, há que tomar medidas de prevenção.

---



## 2.1 Circuitos de água e seus problemas associados

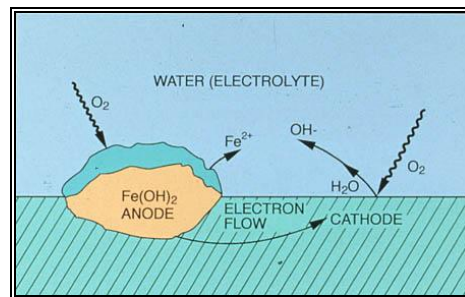
A água é um elemento de extrema importância numa unidade industrial, sendo um meio de transporte de contaminantes que podem afectar todo o sistema produtivo.

As principais implicações da água, na panóplia de equipamentos da empresa, enquadram-se no desenvolvimento de fenómenos de natureza corrosiva e na formação de sujamento ao longo do circuito da água. Estes processos acarretam danos a nível dos equipamentos inerentes à unidade industrial, podendo mesmo provocar a completa paralisação de todo o processo e pôr em causa a segurança dos operários no local.

### 2.1.1 Corrosão

A corrosão resulta da deterioração de materiais a partir da acção de um processo químico ou electroquímico [32], [31].

A corrosão electroquímica ocorre espontaneamente, podendo ocorrer quando o metal entra em contacto com um electrólito, verificando-se reacções anódicas e catódicas. Este fenómeno verifica-se na corrosão de metais e de ligas metálicas, em meios aquosos. A corrosão electroquímica possui grande susceptibilidade de ocorrência na Natureza, em presença de água à temperatura ambiente, formando uma pilha electroquímica, como se encontra demonstrado na **Figura 2.1** [30], [31], [32].



**Figura 2.1.** Caso típico de corrosão [14].

Em relação à corrosão química, esta é menos frequente na Natureza, caracterizando-se pela sua acção corrosiva incidir sobre a superfície do material sem ocorrer qualquer transferência de electrões [31].

A corrosão acarreta prejuízos técnico-económicos, sendo estas perdas classificadas em directas e indirectas [30], [31].

As perdas directas apresentam uma maior facilidade de contabilização abrangendo [30], [31].

- custos de substituição do equipamento corroído, incluindo energia e mão-de-obra;
- acréscimo nos custos de investimento, comparativamente aos existentes na ausência de corrosão;
- custos e manutenção de inibidores de corrosão, protecção catódica ou outro tipo de protecção.

As perdas indirectas apresentam uma maior dificuldade na sua avaliação, embora tipicamente se verifique custos superiores no que concerne às perdas indirectas. As perdas indirectas contemplam <sup>[30]</sup>:

- interrupções do funcionamento, tendo em vista a reposição de material corroído ou a limpeza dos equipamentos;
- perdas de produto, devendo-se a possíveis perdas de água, óleos ou soluções contidas nos equipamentos corroídos;
- perdas da eficiência dos equipamentos;
- contaminação de produtos, devido ao contacto com os materiais advindos da corrosão;
- contaminação ambiental;
- sobredimensionamento dos equipamentos, devido ao desconhecimento das velocidades de corrosão e à incerteza dos métodos de controlo.

A corrosão pode também apresentar aspectos benéficos e de extrema importância a nível industrial, tais como <sup>[30]</sup>:

- oxidação de aços oxidáveis, ocorrendo a formação de uma superfície protectora do óxido de crómio;
- anodização do alumínio e/ou suas ligas, surgindo o aparecimento de óxido de alumínio que possui um carácter protector;
- fosfatização de superfícies metálicas, possibilitando uma melhor aderência por parte da tinta a aplicar;
- protecção catódica de aço carbono em instalações enterradas ou submergidas, recorrendo a ânodos de sacrifício.

O aparecimento de zonas catódicas pode surgir através de <sup>[32]</sup>:

- não similaridade de materiais;
- produtos formados pela acção da corrosão;
- impurezas no metal;

- zonas com menor arejamento;
- áreas com gradientes de concentração;
- zonas que possuem diferenças de deformação.

Existem várias formas de corrosão, consoante o tipo de material, o ambiente envolvente, entre outras condições. No **Anexo B.1** são apresentados alguns exemplos de tipos de corrosão mais frequentes.

### 2.1.2 Sujamento

O sujamento é um factor importante no que toca à eficiência da transferência de calor, bem como no transporte da água pelos seus circuitos <sup>[14]</sup>.

O sujamento pode ser encontrado sob a forma de incrustações, depósitos e lamas, dependendo o seu aparecimento de variados factores tais como, a velocidade da água, a temperatura de operação, tempo de residência e a própria natureza do material do circuito <sup>[14], [17]</sup>.

Os efeitos subsequentes da presença de sujamento num circuito de água são <sup>[31]</sup>:

- redução da transferência de calor;
- redução da área de passagem do fluido;
- aumento da rugosidade;
- possibilidade de impulsionar à formação de processos corrosivos.

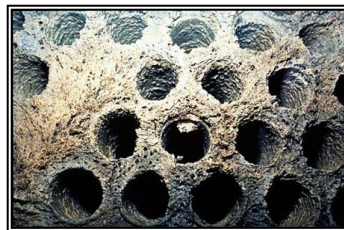
Estes efeitos traduzem-se em aumentos de consumo de energia, assim como em danos nos equipamentos constituintes do sistema, resultando conseqüentemente em custos na manutenção e administração de produtos químicos, como forma preventiva <sup>[31]</sup>.

Existem diferentes tipos de fenómenos de sujamento, encontrando-se enunciados na **Tabela 2.1**.

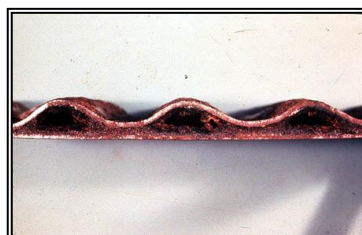
**Tabela 2.1.** Classificação dos diferentes tipos de sujamento <sup>[31]</sup>.

<b>Tipo de Sujamento</b>	<b>Significado</b>
Sujamento por precipitação ou cristalização	Formação ou deposição de cristais numa superfície de transferência de calor, denominados por incrustações.
Sujamento por deposição de partículas	Aglomeração, sobre a superfície, de sólidos em suspensão, presentes no fluido. Estas aglomerações são conhecidas por depósitos.
Sujamento biológico (“ <i>biofouling</i> ”)	Proliferação de microrganismos à superfície.
Sujamento por produtos de corrosão	Deposição dos subprodutos dos processos corrosivos.
Sujamento por reacção química	Deposição sobre a superfície dos produtos provenientes de reacções químicas, por via de compostos presentes no fluido.
Sujamento por solidificação ou congelamento	Aglomeração de depósitos provenientes da mudança para estado sólido.

Nas **Figuras 2.2 e 2.3** apresentam-se dois casos de sujamento em diferentes equipamentos.



**Figura 2.2.** Depósito de carbonato de cálcio na superfície de um condensador <sup>[14]</sup>.



**Figura 2.3.** Presença de incrustações de ferro numa torre de arrefecimento <sup>[14]</sup>.

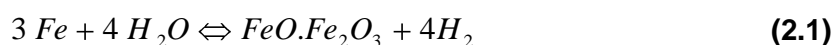
## 2.2 Perdas nos equipamentos

O estudo dos efeitos da água nos equipamentos industriais envolve todos os equipamentos que estejam em contacto com a água do processo. A análise da qualidade da água permite propalar as suas consequências nos diferentes equipamentos da empresa.

### 2.2.1 Caldeira

No que toca aos equipamentos, há a salientar uma maior preocupação da qualidade da água relativamente à água de alimentação e à água do interior da caldeira, de modo a que este equipamento não esteja sujeito a condicionantes tais como a corrosão, sujamento e arrastamento. Estas interferências negativas desenvolvem-se de forma acelerada, devido às características extremas de pressão e temperatura, propiciando graves danos no equipamento, bem como uma insegurança associada à sua actividade.

A caldeira presente na Petibol é constituída por aço, laborando a uma temperatura de aproximadamente 160 °C. A principal reacção corrosiva, a esta temperatura e sem a presença de oxigénio, corresponde a uma reacção de Schikorr, que induz à formação da magnetite ( $Fe_3O_4$ )<sup>[17]</sup>:



A magnetite permite a formação de uma película passiva, que conseqüentemente auto-inibe o processo corrosivo e diminui a velocidade da corrosão, protegendo assim o aço contra reacções de corrosão. A formação desta camada é do interesse da protecção da caldeira, sendo necessário garantir as condições para a formação dessa película de forma contínua e uniforme. Para tal, o pH deve estar situado num intervalo de 8,5 a 12,7, dependendo da pressão de funcionamento da caldeira. No caso da caldeira da Petibol, o pH recomendável para a água da caldeira deve estar compreendido entre 11,0 e 11,5<sup>[17]</sup>. No entanto, o hidrogénio resultante da reacção representada pela **Equação (2.1)**, pode originar o aparecimento de fissuras no material, embora seja um fenómeno pouco vulgar em instalações industriais. Este fenómeno é denominado por craqueamento por hidrogénio e deve-se à difusão do hidrogénio no interior do aço, que posteriormente se liga ao carbono contido na liga de aço, formando assim o metano<sup>[14],[17]</sup>.

A presença de oxigénio, na linha dos condensados e na água de alimentação à caldeira, possibilita a evolução da corrosão por picadura. As altas temperaturas a que a caldeira opera permite ainda uma maior velocidade de corrosão. Um dos equipamentos mais afectados por este tipo de processo corrosivo corresponde ao economizador, caso não exista uma prévia remoção do oxigénio, pois é neste equipamento que se verifica maiores

concentrações de oxigénio. A entrada de oxigénio na caldeira, promove o desenvolvimento de corrosão por picadura na zona de entrada. O oxigénio ao entrar para o interior da caldeira, e juntamente com as altas temperaturas de operação, é transportado para a linha de vapor e condensados <sup>[17]</sup>.

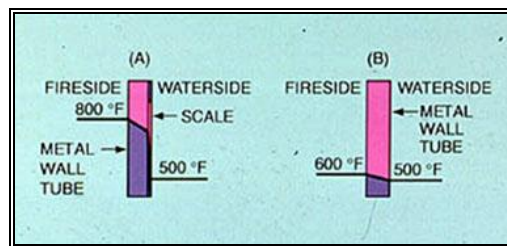
Os depósitos são mais um dos factores que impulsionam o desenvolvimento de fenómenos corrosivos na caldeira. A corrosão sob depósito é promovida pela presença de depósitos densos, devido à formação de pilhas de arejamento diferencial. No caso de se encontrar presente na caldeira depósitos porosos, a solução inserida nos poros suporta um processo de concentração, podendo levar a uma gama de concentrações que impulsionem danos na película de magnetite e no aço da caldeira <sup>[17]</sup>.

Os dois processos corrosivos passíveis de ocorrer numa caldeira, correspondem à corrosão sob tensão, devendo-se à conjugação da tensão mecânica exercida, bem como condicionantes químicas, e a corrosão sob fadiga. A corrosão sob fadiga deve-se aos esforços cíclicos que promovem um desgaste da película passiva e promovem, consequentemente, a exposição do aço aos processos corrosivos <sup>[17]</sup>.

Um dos processos frequentes numa caldeira corresponde ao sujamento, devendo-se à presença de sólidos em suspensão e dissolvidos na água de alimentação à caldeira. O sujamento pode ocorrer por toda a caldeira, sendo manifestamente mais preocupante nos locais onde ocorre transferência de calor <sup>[17]</sup>.

O sujamento em caldeiras é evidenciado a partir da formação de lamas, depósitos e incrustações. As lamas encontram-se depositadas na parte inferior do corpo da caldeira, que ao sedimentarem tendem a formar depósitos. Relativamente às incrustações, estas são resultado da reacção de precipitação sobre a superfície metálica, denominado sujamento por precipitação ou cristalização, podendo originar posteriormente o desenvolvimento de depósitos com características de elevada dureza e aderência <sup>[17]</sup>.

. Na situação (A) da **Figura 2.4**, verifica-se um decréscimo acentuado da transferência de calor entre o tubo da caldeira e a água da caldeira, devido à presença de depósitos (“scale”) na parede do tubo de metal, conduzindo a um sobreaquecimento desta parede. A situação (B), da mesma figura, corresponde à situação expectável, ocorrendo o fenómeno de transferência de calor que se pretende entre a energia calorífica contida no interior dos tubos e a água da caldeira.



**Figura 2.4.** Acção directa da deposição na transferência de calor entre o tubo da caldeira e a água da caldeira <sup>[14]</sup>.

O sujamento, para além de provocar sobreaquecimentos localizados, também é um factor de excelência para a proliferação de processos corrosivos, como mencionado anteriormente.

Um dos fenómenos recorrentes do sujamento em caldeiras consiste no rompimento de tubos. O sobreaquecimento do aço encontra-se dependente do fluxo de calor, da condutividade térmica e da espessura do depósito <sup>[17]</sup>.

O sujamento ocorre principalmente devido à presença de substâncias insolúveis, tais como <sup>[14], [17]</sup>:

- carbonato de cálcio;
- hidróxido de magnésio;
- sulfato de cálcio;
- sílica;
- óxidos de ferro.

Os depósitos mais comuns em caldeiras de baixa pressão correspondem aos sais de cálcio, enquanto que nas caldeiras de média e alta pressão são os compostos de ferro <sup>[17]</sup>.

O arrastamento é uma das formas de contaminação do vapor produzido na caldeira, correspondendo ao transporte de contaminantes por via do vapor, tendo variadíssimas causas, tais como <sup>[14], [17], [33]</sup>:

- insuficiente desgaseificação da água de alimentação;
- alta concentração de sólidos;
- presença de contaminantes no condensado;
- água de compensação imprópria;
- presença de óleos e gorduras na água de alimentação;
- alta condutividade;

- deficiente limpeza na linha do vapor;
- design da caldeira;
- excesso de produção de vapor na caldeira.

Os arrastamentos são evidenciados por três diferentes fenómenos <sup>[17]</sup>:

- projecção – provém da variação brusca da carga, pressão ou temperatura, causando uma evaporação violenta;
- espuma – a criação de espuma é resultante dos sais dissolvidos presentes na água da caldeira, dependendo da concentração e da natureza destes;
- sublimação – mudança do estado sólido para o estado gasoso de algumas das substâncias existentes na água da caldeira, dependendo da temperatura dessa mesma água.

### 2.2.2 Desgaseificador

O desgaseificador, sendo um equipamento que possui no seu interior pulverizadores e pratos de distribuição de água, a sua água de alimentação deveria estar isenta de sólidos em suspensão, de forma a que não ocorram entupimentos. A presença de altos níveis de dureza e alcalinidade podem conduzir à formação de depósitos no interior do desgaseificador <sup>[14]</sup>.

Embora o desgaseificador seja um equipamento de remoção de oxigénio, a completa remoção não é possível, podendo mesmo baixas concentrações de oxigénio causarem picaduras <sup>[14]</sup>. Os desgaseificadores, do mesmo tipo do existente na Petibol, devem apresentar concentrações de oxigénio à saída do equipamento inferiores a 0,01 mg O<sub>2</sub>/L <sup>[17]</sup>.

O desgaseificador permite a remoção de dióxido de carbono na forma livre, removendo apenas uma quantidade circunstancial de dióxido de carbono combinado. Uma significativa parte do dióxido de carbono combinado é libertada conjuntamente com o vapor e posteriormente, esse mesmo dióxido de carbono é dissolvido no condensado, causando possíveis processos corrosivos <sup>[14]</sup>.

Os condensados são mais uma das vias onde pode ocorrer processos corrosivos e sujamento, devido a poderem transportar contaminantes, gases dissolvidos, tais como oxigénio e anidrido carbónico, entre outros <sup>[17]</sup>.

Os processos corrosivos susceptíveis de ocorrer no desgaseificador são os seguintes <sup>[14]</sup>:

- erosão-corrosão;
- corrosão por picadura;
- corrosão sob tensão;

- corrosão sob fadiga.

### 2.2.3 Economizador

No que diz respeito ao economizador, como foi mencionado anteriormente, encontra-se propenso à corrosão por picadura, devido à presença de oxigénio e de um aumento na temperatura. A entrada do economizador é a zona mais afectada pela corrosão devido a ser a primeira área após o desgaseificador que se encontra exposta a um aumento de temperatura <sup>[14]</sup>.

A corrosão sob depósito é mais um dos fenómenos corrosivos passível de ocorrer no economizador, devido à presença de contaminantes na água de alimentação. Estes mesmos contaminantes podem despoletar corrosão-erosão nas curvas dos tubos do economizador <sup>[14]</sup>.

O gás alimentado ao economizador é um outro elemento a ter em conta, visto poder conter contaminantes, que posteriormente levem à formação de compostos com baixo valor de pH. No que diz respeito ao gás utilizado na Petibol, este correspondendo ao gás natural, é considerado por excelência um gás limpo, isento de qualquer contaminante, não se prevendo assim a ocorrência de corrosão por via do gás <sup>[14]</sup>.

### 2.2.4 Circuito de arrefecimento

Um outro equipamento a ter em conta corresponde à torre de arrefecimento, pois o seu incorrecto uso e uma ineficaz limpeza, provocam não só um ineficiente arrefecimento da água, como também proporciona condições para a proliferação de bactérias causadoras de doenças, tais como a *Legionella pneumophyla* <sup>[26]</sup>.

A *Legionella pneumophyla* é a principal espécie de *Legionella* presente em manifestações de doença em humanos, sendo responsável pelo aparecimento da Doença dos Legionários. Esta doença caracteriza-se por ser uma infecção respiratória, manifestando-se de diversas formas, tais como febres altas e dores musculares, complicações respiratórias, manifestações neurológicas e intestinais. A doença dos Legionários é causada pela inalação de água ou por aerossol de água contaminada com *Legionella*, sendo a sua incidência dependente da reprodução da *Legionella pneumophyla* no interior dos alvéolos pulmonares <sup>[26], [34]</sup>.

A presença de bactérias *Legionella* é comum em reservatórios de água quente, tendo como principais fontes de infecção os sistemas de distribuição de água quente e torres de arrefecimento <sup>[26], [27]</sup>.

No que toca a processos corrosivos, as formas mais comuns nas torres de arrefecimentos correspondem à <sup>[14], [31]</sup>:

- corrosão selectiva;
- corrosão por picadura;
- corrosão galvânica;
- corrosão sob juntas e fendas;
- corrosão intergranular;
- corrosão sob tensão;
- corrosão biológica;
- erosão-corrosão.

Num circuito de arrefecimento de água, as torres de arrefecimento, permutadores, tubagens, entre outros equipamentos, encontram-se sujeitos à formação de sujamento, sendo os tipos de sujamento mais vulgares os seguintes <sup>[31]</sup>:

- sujamento por precipitação e cristalização;
- sujamento por deposição de partículas;
- sujamento biológico.

O desenvolvimento do sujamento por precipitação e cristalização corresponde à conjugação simultânea de quatro factores sendo eles <sup>[31]</sup>:

- o limite de sal ou óxido é excedido;
- maior velocidade de precipitação do sal ou óxido em relação à velocidade de dissolução;
- desenvolvimento de compostos microcristalinos;
- tempo de contacto suficiente para que permita o desenvolvimento dos cristais.

O tipo de incrustações depende fundamentalmente da água de alimentação às torres de arrefecimento, do meio circundante das torres e do modo operativo das torres, sendo as incrustações mais comuns as seguintes <sup>[31]</sup>:

- carbonato de cálcio;
- sulfato de cálcio;
- fosfato de cálcio;
- óxidos de ferro;
- fosfatos de ferro e zinco;
- silicato de magnésio.

Em relação ao sujamento por deposição de partículas, é vulgar que ocorra caso se verifique a presença de sólidos em suspensão na água de arrefecimento. Estes sólidos têm como génese as seguintes formas <sup>[31]</sup>:

- subprodutos do desenvolvimento biológico;
- sólidos em suspensão e colóides existentes na água;
- poeiras e partículas transportadas através do ar;
- partículas inseridas no sistema por meio de fugas no equipamento;
- compostos resultantes de processos corrosivos;
- compostos provenientes de reacções de precipitação no fluido.

Por fim, o sujamento biológico resulta da presença de microrganismos no circuito da água de arrefecimento, desenvolvendo este tipo de sujamento na presença de condições óptimas de proliferação das bactérias, tais como as <sup>[31]</sup>:

- bactérias formadoras de limo (ROPE);
- bactérias anaeróbias corrosivas;
- bactérias depositantes de ferro;
- bactérias nitrificantes.

A produção da matriz polimérica (biofilme) causa a formação de sujamento biológico e de corrosão, levando conseqüentemente a perdas de rendimento e deterioração nos equipamentos, tais como nos permutadores de calor, circuitos de transporte da água, torres de arrefecimento, entre outros. Para além dos danos industriais, existe também perigos a nível da saúde pública, visto ocorrer um decréscimo da qualidade da água <sup>[31], [35], [36]</sup>.

### 2.2.5 Acessórios

No que diz respeito a materiais auxiliares, tais como bombas, estes acessórios encontram-se com uma grande preponderância a sofrerem processos corrosivos, sob a acção de compostos, tais como <sup>[37]</sup>:

- anidrido carbónico;
- cloretos;
- cloro;
- oxigénio;
- sulfuretos.

De forma a contornar esta situação, os materiais mais recorrentes neste tipo de acessórios correspondem a <sup>[37]</sup>:

- ferro fundido;
- bronze;
- aço inoxidável;
- titânio.

## 2.3 Medidas preventivas

A aplicação de medidas preventivas depende explicitamente do conhecimento das causas que conduzem aos problemas industriais. As medidas preventivas prendem-se essencialmente com a adopção de equipamentos adequados à função a desempenhar, bem como a primazia de recurso a água em óptimas condições.

### 2.3.1 Desgaseificador

#### ➤ Prevenção de corrosão

A total remoção de oxigénio na unidade de desgaseificação requer a adição de um agente químico que promova essa limpeza, tal como produtos à base de sulfito, entre eles o sulfito de sódio, hidrogenossulfito de sódio e dissulfito de sódio, bem como produtos à base de hidrazina <sup>[14], [17]</sup>.

A corrosão desenvolvida a partir da presença de dióxido de carbono combinado pode ser controlada a partir da adição de aminas voláteis neutralizantes, condicionadores metal-óxido e de película, e aminas “*filmantes*” que promovem a formação de uma película protectora contra o ataque do dióxido de carbono e do oxigénio <sup>[14], [17]</sup>.

De forma a prevenir o desenvolvimento dos processos corrosivos devem-se seguir as seguintes práticas <sup>[14]</sup>:

- monitorização regular;
- controlo da pressão e temperatura;
- verificação da qualidade da água de alimentação ao desgaseificador;
- inspecções regulares ao equipamento parado, tendo o cuidado de utilizar técnicas não destrutivas;
- durante o arranque, atenuar tensões passíveis de ocorrer.

#### ➤ Monitorização

A monitorização regular é uma forma de prevenção de processos danosos ao equipamento, proporcionando uma rápida actuação no local.

Há que ter em atenção se a unidade de desgaseificação não se encontra a operar além da sua capacidade, bem como se o funcionamento não ocorre com martelo de água e stress térmico. A inspecção em “off-line” ao desgaseificador da Petibol é aconselhável sempre que seja propício, tendo por base alguns dos seguintes procedimentos <sup>[14]</sup>:

- regulação das válvulas de entrada de água;
- alívio das válvulas de segurança;
- averiguação da existência de deficiências do material, tal como rachadelas;
- correcção da posição dos tabuleiros;
- remoção de depósitos nos sprays de água;
- verificação da válvula de descarga e controlo do aumento do nível de água;
- controlo das válvulas de vapor de forma a manter a pressão mínima requerida no desgaseificador;
- fiscalização da chaminé de remoção de gases e da entrada do condensado.

### 2.3.2 Economizador

#### ➤ Prevenção de corrosão

A corrosão neste equipamento pode ser minimizada desde a sua concepção, sendo construído de forma a minimizar a erosão. Outros procedimentos a adoptar deverão ser uma limpeza periódica do equipamento, um controlo do oxigénio e pH, e o recurso a água com boa qualidade, tendo em vista a passivação da superfície do metal <sup>[14]</sup>.

### 2.3.3 Caldeira

#### ➤ Redução de processos corrosivos

De modo a prevenir a formação de fenómenos corrosivos na caldeira, há que eliminar as causas que induzem tais processos. A caldeira da Petibol opera a elevada temperatura, em meio aquoso alcalino e com baixo teor de oxigénio, devido à sua prévia remoção a partir do desgaseificador. Estas características, conjuntamente com a limpeza na superfície do equipamento, promovem a obtenção de velocidades de corrosão muito baixas. Para tal, é necessário a aplicação de técnicas para o tratamento da água da caldeira, objectivando-se atingir nas diferentes águas as seguintes metas <sup>[14], [17]</sup>:

- água de alimentação:

- redução do cobre, hidrazina, sólidos dissolvidos e sólidos suspensos totais (SST), teor de oxigénio, do cálcio, magnésio, ferro, sílica, e matéria orgânica;
- correcção do pH para valores de 8,5 a 9,2.
- água da caldeira:
  - controlo da alcalinidade, sólidos dissolvidos totais (SDT), fosfatos, complexantes e pH.
- condensados:
  - controlo do pH.

Para além das condições de controlo apresentadas anteriormente, é aconselhável o equipamento operar de acordo com as características especificadas pelo equipamento, particularmente a temperatura e a pressão. Outras formas de prevenção correspondem à minimização do stress mecânico, cuidados especiais durante o arranque e o desligar da caldeira, e por fim, uma monitorização e controlo regular <sup>[14]</sup>.

#### ➤ **Prevenção de arrastamentos na linha de vapor**

O arrastamento na linha de vapor apresenta impossibilidades na sua completa supressão, porém existem formas de minimizar a quantidade de contaminantes transferidos para o vapor, tal como <sup>[14], [17]</sup>:

- utilização apropriada da caldeira;
- qualidade da água da caldeira, necessitando de um regular controlo;
- sistema de limpeza do vapor saturado.

No particular caso da caldeira pirotubular, devido à passagem directa do vapor presente na câmara de vapor para o colector de distribuição, é necessário tomar certos cuidados <sup>[17]</sup>:

- adição de produtos anti-espuma;
- controlo das concentrações de SST e SDT da água da caldeira, a partir da aplicação de purga;
- eliminação de compostos espumantes na água de alimentação à caldeira, tais como gorduras e óleos;
- limpeza completa do queimador e das superfícies onde ocorre transferência de calor;
- evitar variações bruscas no consumo de vapor;

- controlo do nível de água no interior da caldeira.

#### ➤ **Prevenção de sujamento**

O sujamento na caldeira pode ser evitado a partir do recurso a água de boa qualidade, bem como um rigoroso controlo e tratamento da água no interior da caldeira, de forma a não propiciar as condições favoráveis ao desenvolvimento deste fenómeno. A aplicação de purga é uma das formas de redução dos sólidos em suspensão, embora estes sólidos possuam uma tendência para se aglomerar e sedimentar. Uma medida preventiva a adoptar corresponde à realização de limpeza química do interior da caldeira, afim de eliminar depósitos existentes, gorduras e óleos, entre outros <sup>[17]</sup>. No **Anexo B.2** encontra-se citado o procedimento da limpeza química à caldeira.

### 2.3.4 Circuito de arrefecimento

#### ➤ **Controlo de sujamento por precipitação ou cristalização**

A prevenção do desenvolvimento de incrustações pode ser realizada de acordo com as seguintes medidas <sup>[31]</sup>:

- minimização da concentração dos compostos motivadores de desenvolvimento de incrustações;
- redução da alcalinidade por via de adição de um ácido;
- remoção de áreas estagnadas;
- aumento da velocidade de água;
- alteração da natureza do material;
- aplicação de uma limpeza periódica (no caso de permutadores, utilização de processos tal como o Amertap e o Taprogge<sup>1</sup>)
- aplicação de três tipos de produtos químicos, que afectam o sujamento por precipitação ou cristalização, podendo serem capazes de <sup>[31]</sup>:

---

<sup>1</sup> Nos processos de limpeza Amertap e Taprogge, a limpeza é realizada a partir da introdução de bolas esponjosas nos tubos do permutador, permitindo a remoção de depósitos que não apresentem uma grande aderência à superfície <sup>[29]</sup>.

- interferir na solubilidade do sal;
- modificar o fenómeno de desenvolvimento dos cristais;
- relacionar-se com as partículas que estejam carregadas electricamente, funcionando assim como um dispersante.

Os produtos químicos mais utilizados neste tipo de sujamento são os seguintes <sup>[31]</sup>:

- polifosfatos;
- fosfonatos;
- dispersantes sintéticos;
- dispersantes naturais;
- complexantes.

#### ➤ **Controlo do sujamento por deposição**

O controlo deste tipo de sujamento pode ser efectuado a partir da introdução de algumas práticas, tais como <sup>[31]</sup>:

- clarificação da água contida na água de alimentação;
- introdução de um sistema de filtração da água recirculada;
- limpeza regular;
- diminuição de zonas estagnadas;
- aumento da velocidade da água;
- aplicação de inibidores.

#### ➤ **Controlo do sujamento biológico**

O controlo do sujamento biológico deve ter em conta um conjunto de medidas, tais como <sup>[31]</sup>:

- diminuição de zonas estagnadas;
- tratamento do circuito com cromatos;
- evitar o contacto da água com fugas do processo;
- evitar que a luz solar atinja a água, afim de não ocorrer proliferação de algas;
- evitar velocidades do circuito de água inferiores a 0,5 m/s;
- controlo da população microbiana na água de arrefecimento através da aplicação, em contínuo ou em choques (tal como três choques por dia), de

biocidas oxidantes (cloro, hipoclorito, bromo, ...) e de microbicidas orgânicos, de forma periódica.

Neste último ponto, para a aplicação de um microbicida, há que conhecer inicialmente o tempo de meia vida das espécies microbianas, bem como o volume de circuito, de forma a determinar a dose mínima a adoptar para um determinado período de tempo <sup>[31]</sup>. No **Anexo B.3** encontra-se o modo de aplicação de biocidas oxidantes e microbicidas na água de arrefecimento.

No que diz respeito a métodos físicos a implementar, estes podem ser “on-line” ou “off-line” sendo que, tal como nome indica, a limpeza em “off-line” obriga a uma paragem de todo o sistema, podendo mesmo requerer desconjuntar alguns equipamentos. A **Tabela 2.2** foi adaptada da tese “*Comparação da eficiência de dois biocidas (carbamato e glutaraldeído) em sistemas de biofilme*” <sup>[38]</sup>, encontrando-se alguns dos exemplos de limpeza a realizar, não sendo de uso exclusivo de um equipamento específico.

**Tabela 2.2.** Conjunto de técnicas de limpeza física <sup>[38]</sup>.

<b>“On-line”</b>	<b>“Off-line”</b>
<b>Limpeza Amertap e Taprogge</b>	Introdução de água ou vapor de água a altas temperaturas
<b>Injecção de ar ou gás</b>	Aplicação de produtos químicos (ácido etilendiaminotetracético_(EDTA), hidróxido de sódio,...)
<b>Vibração de escovas</b>	Limpeza de forma manual
<b>Aplicação de campos eléctricos</b>	Choque térmico
<b>Utilização de ultra-som</b>	Choque osmótico
<b>Aplicação de radiação ultravioleta (UV) e radiação gama</b>	Aplicação de vapor afim de humedecer (“soaking”)

➤ **Controlo da Legionella**

A bactéria causadora da doença do Legionário, quando se encontra num meio com as condições ideais, reproduz-se rapidamente por divisão binária, sendo assim necessário um cuidado especial neste controlo <sup>[26]</sup>. No **Anexo B.4** é apresentado um leque de boas práticas a adoptar no controlo da multiplicação das bactérias, bem como medidas de

segurança no que concerne aos trabalhadores a operarem nas torres de arrefecimento.

### ➤ **Controlo da corrosão**

A prevenção de processos corrosivos, nos equipamentos inerentes ao sistema de arrefecimento da água, supõe um pré-tratamento desse mesmo sistema. O pré-tratamento deve objectivar os seguintes pontos <sup>[26]</sup>:

- preparação e limpeza das superfícies metálicas;
- recurso a concentrações de inibidor superiores ao recorrente.

A passivação química deve ser concretizada logo após a limpeza das superfícies metálicas, podendo ser aplicado a passivação “*on-line*” ou a passivação “*off-line*”.

No **Anexo B.5** é exposto o procedimento para a protecção dos sistemas de arrefecimento de água.

### **2.3.5 Análises periódicas ao sistema**

O fabricante da caldeira, *Luís Gonçalves & Irmão*, enuncia um conjunto de recomendações para a avaliação da qualidade da água, sendo elas:

- avaliação diária de:
  - pH e dureza tanto na água de alimentação, como na água no interior da caldeira.
- avaliação trimestral de:
  - pH, dureza, teor de dióxido de carbono na água de alimentação;
  - pH, dureza, teor de cloro, silício e salinidade total para a água no interior da caldeira.

No **Anexo B.6** são enumerados, de acordo com a literatura, os indicadores a avaliar para a água da caldeira, os métodos aconselháveis de análise e seu limite de detecção <sup>[17]</sup>. <sup>[31]</sup>. Nesse Anexo são enunciados os parâmetros de controlo, no que diz respeito à água do circuito de arrefecimento, e métodos de avaliação aconselháveis.

Na **Tabela 2.3** é demonstrada a periodicidade de análise em relação à água de entrada nas torres de arrefecimento e água de saída, que se encontram localizadas no tanque de água quente e no tanque de água fria, respectivamente.

**Tabela 2.3.** Periodicidade recomendada na avaliação dos parâmetros para as águas do tanque água fria e tanque de água quente <sup>[31]</sup>.

Indicadores	Frequência semanal	
	Tanque de água quente	Tanque de água fria
pH (T = 25 °C)	1	7
Alcalinidade M	1	1
Dureza cálcica	1	1
Cloretos	1	1
Sílica	1	1
Ferro total	1	1
Residual de cloro	-	1
Concentração de inibidor de corrosão	-	1
Turvação	1	1
Condutividade	1	7
Contagens microbiológicas	-	Uma vez por mês



## **3 AVALIAÇÃO DA ÁGUA DO PROCESSO**

---

Um dos aspectos fundamentais, para uma óptima qualidade de fabrico, corresponde à excelência das condições dos seus recursos. Um desses recursos essenciais corresponde à água, possuindo este capítulo um especial interesse na sua caracterização, assim como nas condições actuais de funcionamento.

---



### 3.1 Condições operatórias da unidade industrial

Na **Figura 3.1** encontram-se ilustrados os valores de temperatura, pressão e caudal referentes ao circuito da água na instalação industrial.

A elaboração do esquema, no que diz respeito às temperaturas do circuito da água do processo, teve como ponto de partida os valores obtidos a 8 de Fevereiro de 2010, à excepção das temperaturas de saída de ambas as torres de arrefecimento, das temperaturas de saída da purga, do desgaseificador e da temperatura de entrada no economizador, tendo estas sido medidas a 11 de Março de 2010. Relativamente às temperaturas obtidas nas torres, as medições efectuadas a 8 de Fevereiro foram desprezadas, tendo sido obtidos valores de temperatura de 41,8 °C e 30 °C para a torre 1 e torre 2, respectivamente. As altas temperaturas significavam a existência de sujidade no interior das torres, tendo sido realizada uma posterior limpeza, verificando-se uma diminuição acentuada das temperaturas de saída, tal como se pode verificar na **Figura 3.1**. Em relação à temperatura da purga, esta foi avaliada à saída da caldeira, ainda no interior da tubagem, sendo a temperatura igual à temperatura no interior da caldeira. Com o decréscimo da pressão para a pressão atmosférica, verifica-se uma grande vaporização, tendo a água uma temperatura de 100 °C.

As temperaturas foram medidas com o auxílio de um termómetro por infra-vermelhos, exceptuando as temperaturas de saída e entrada do economizador, e a temperatura de saída do desgaseificador, em que a medição foi efectuada a partir de termopares colocados nos locais, encontrando-se essas mesmas temperaturas sinalizadas na **Figura 3.1** com o símbolo (\*).

As temperaturas inerentes ao tanque de água fria e tanque de água quente foram registadas mensalmente, devido à sua importância para efeitos de cálculo, encontrando-se explicitadas na **Tabela C.1**, no **Anexo C**.

No que respeita às pressões, estas encontram-se avaliadas como pressões relativas, verificando-se a existência de um decréscimo de pressão na linha de vapor e na linha de entrada no anel líquido, devendo-se essa situação à existência de válvulas reductoras de pressão, como se pode comprovar pelos esquemas da Sala da Caldeira (**Figura A.2**) e da Sala Técnica (**Figura A.3**).

Em relação aos caudais, estes foram conhecidos a partir dos diversos contadores de água existentes no circuito de água da unidade industrial. De salientar que os caudais oriundos dos furos artesianos não são constantes, não sendo possível um registo exacto desses mesmos valores.

Um outro facto que requer uma especial atenção, recai no caudal de entrada no anel líquido da Central de Vácuo, observando-se que este opera a um caudal superior ao necessário, sendo aconselhável um caudal de 2,8 m<sup>3</sup>/h.

Um outro caudal que não possui um valor constante corresponde ao caudal de saída do tanque de bombagem, estando dependente do consumo de água da caldeira, da máquina de blocos e da central de vácuo. O caudal de alimentação à caldeira é constante, devido a existir uma bomba de água do tipo modulante, permitindo uma estabilização do caudal a um valor de cerca de 2 m<sup>3</sup>/h. A máquina de blocos é um dos equipamentos que se encontra dependente do caudal de água do tanque de bombagem, funcionando esporadicamente. Devido a estas oscilações de necessidades nos equipamentos, o tanque de bombagem possui uma bomba do tipo on-off, sendo o seu funcionamento desencadeado quando é atingido um determinado nível de água no interior do tanque. Para efeitos de cálculo, o valor do caudal de água oriunda do tanque de bombagem assumido é de 5,20 m<sup>3</sup>/h, correspondendo a um valor médio à soma do caudal de entrada no desgaseificador, com o caudal óptimo de alimentação à central de vácuo e com o caudal necessário para o funcionamento da máquina de blocos, correspondendo a 1,4 m<sup>3</sup>/h.

As condições meteorológicas para os dias de avaliação de temperatura correspondiam a céu pouco nublado ou limpo, apresentando uma temperatura de cerca de 13 °C para a região do Porto, de acordo com dados do Instituto de Meteorologia de Portugal (IP) <sup>[39]</sup>.

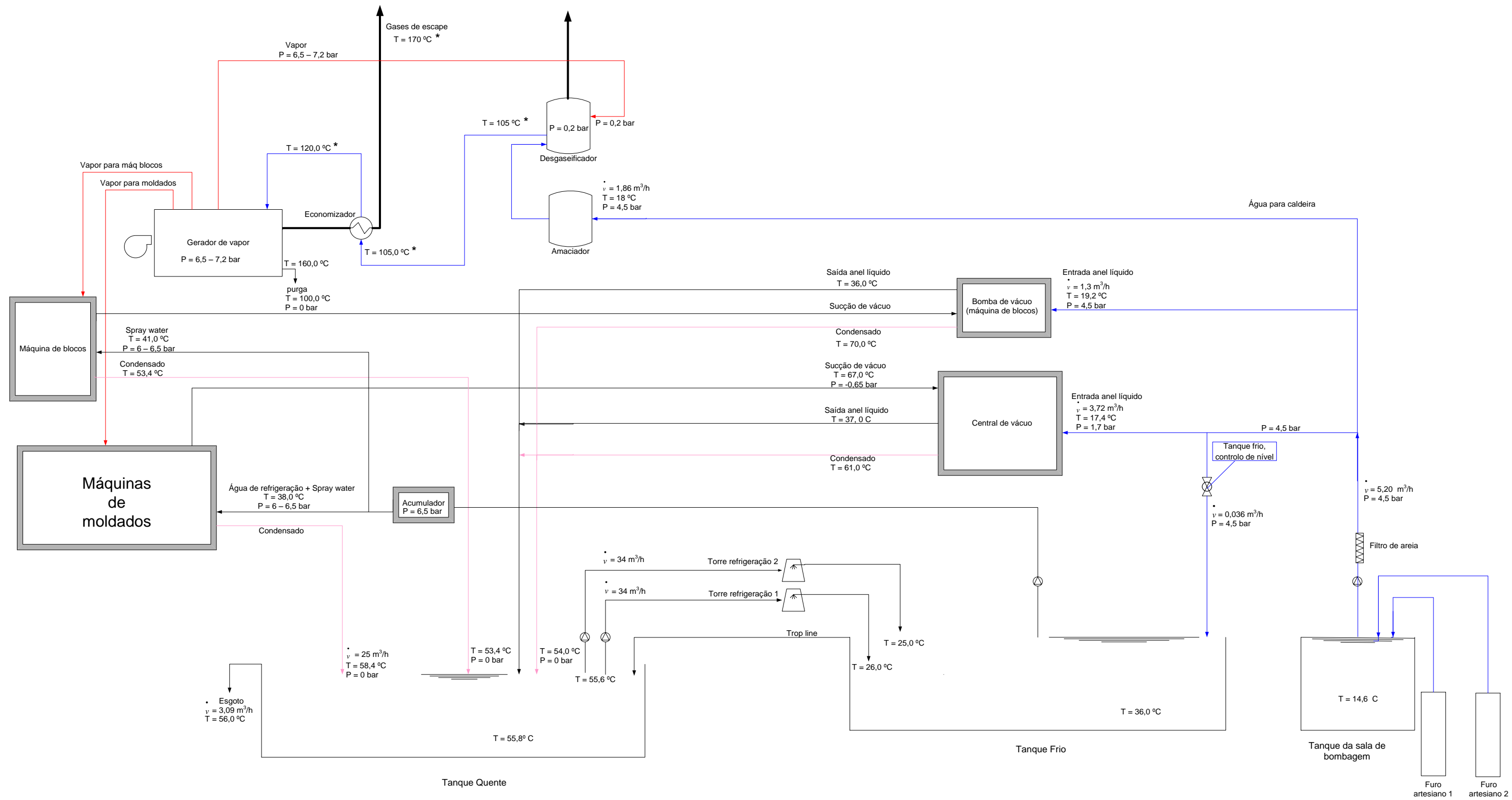


Figura 3.1. Registo dos valores quantificados no circuito da água na unidade industrial.



### 3.2 Caracterização da água

A monitorização do controlo da qualidade da água alimentada ao processo possui elevada importância, tendo em vista a garantia das óptimas condições de funcionamento de todo o processo industrial. A qualidade da água industrial exigida depende do tipo de aplicações a que esta vai ser submetida <sup>[40]</sup>.

As águas industriais, de um modo geral, não devem propiciar o aparecimento de processos corrosivos, devem conter um baixo teor de sólidos suspensos, uma reduzida presença de microrganismos, e baixos valores no que concerne à cor e turvação <sup>[40]</sup>.

A análise detalhada nos diferentes pontos do processo da Petibol, não teve só como objectivo uma caracterização generalista da água envolvente, como também a identificação dos pontos críticos e as consequentes medidas preventivas e correctivas a adoptar. O tratamento da água possibilita, não só a garantia das condições de excelência da água, bem como permite que esta possa ser reutilizada em diferentes etapas do processo, propiciando a redução dos custos associados ao consumo de água e a consequente minimização dos impactos ambientais.

De modo a efectuar uma global caracterização da água do processo, é necessário a recolha de amostras em locais específicos da empresa, sendo as recolhas realizadas nos seguintes pontos:

- tanque de bombagem;
- após passagem no filtro de areia;
- água de compensação da caldeira;
- água dos condensados da linha de vapor;
- água de alimentação à caldeira;
- água da caldeira;
- água de recirculação, contida no tanque de água quente;
- água do condensado dos compressores;
- camada viscosa do circuito de arrefecimento;
- purga;
- descarga industrial.

A avaliação requerida para cada local de amostragem é diferente entre si, consoante as necessidades de operação do processo, tendo sido realizadas amostragens ao longo do período de estágio na empresa, tal como se encontra indicado no **Anexo C**.

As metodologias realizadas, bem como os equipamentos utilizados no decorrer da avaliação da água de circuito, encontram-se mencionadas na respectiva **Tabela C.2** e **Tabela C.3**.

### 3.2.1 Sala de Bombagem

A água fornecida por parte de dois furos artesianos, existentes no local, é conduzida para um tanque de bombagem. Nas paredes internas deste, é possível visualizar uma mancha de tom castanho ao seu redor, que poderá indiciar a presença de teor de ferro na água oriunda dos furos artesianos. Na **Tabela 3.1** encontram-se os valores obtidos na determinação dos parâmetros avaliativos, enquanto que na **Tabela C.4** encontram-se outros parâmetros avaliados à água de bombagem, a pedido da empresa.

**Tabela 3.1.** Registo dos valores obtidos na avaliação da água da Sala de Bombagem.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido	
		Tanque de Bombagem	Após filtro de areia
pH (T ≈ 20 °C)	Escala de Sorensen	6,71	6,31
Condutividade (T ≈ 20 °C)	μS/cm	275	276
Ferro	mg/L Fe	2,12	1,21
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	155	109
Alcalinidade M	mg/L CaCO <sub>3</sub>	69,3	53,3
Alcalinidade P	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0
Carência Química de Oxigénio (CQO)	mg/L O <sub>2</sub>	16,5	11,7
SST	mg/L	< L.Q. <sup>2</sup>	3,5
SDT	mg/L	190	153
Cloretos	mg/L Cl	42,3	43,3
Cor	mg/L Pt-Co	76	66
Turvação	NTU	48	48
Sulfatos	mg /L SO <sub>4</sub>	< L.Q.	-

Comparativamente com os dados obtidos na avaliação da água, verifica-se uma remoção do teor de ferro para um valor de cerca de metade do valor apresentado inicialmente, correspondendo este a 2,12 mg/L. No que diz respeito à dureza da água, após passagem no filtro de areia, esse valor decaiu ligeiramente de 155 mg/L para o valor 109 mg/L, tal como ocorre para a alcalinidade total, decrescendo de 69,3 para 53,4 mg/L. Porém, no que respeita aos sólidos em suspensão, nota-se um aumento desse indicador, ao contrário dos sólidos dissolvidos. De notar que o filtro de areia tem vindo a apresentar uma má retenção dos sólidos, bem como apresenta uma deficiência no sistema de contralavagem, visto esta se realizar recorrendo à própria água do tanque de bombagem, tal como

<sup>2</sup> Limite de quantificação (L.Q.) equivale à menor concentração de analito para a qual esta possa ser determinada em conformidade, com precisão e veracidade <sup>[42]</sup>.

se pode constatar pela **Figura A.1**. Estas condições podem explicar a razão pela qual os valores de sólidos em suspensão à saída são superiores aos valores de entrada do filtro de areia. Um outro problema associado a este filtro de areia corresponde às suas dimensões inapropriadas, apresentando uma altura de meio filtrante ligeiramente inferior a 1,0 m, não correspondendo às dimensões mais comuns para um filtro de areia. Os filtros de areia de camada única apresentam dimensões de 1,40 a 1,80 m, enquanto que nos filtros de antracite e areia, a altura comum situa-se entre 1,80 e 2,40 m <sup>[42]</sup>.

Em relação aos valores da CQO, tanto na água do tanque de bombagem como na água após circulação no filtro de areia, foram obtidos valores baixos, significando a presença de matéria orgânica e inorgânica em pequena proporção.

Na quantificação da cor e turvação foram obtidos valores baixos, tal como era expectável.

No mês de Agosto de 2010 foi efectuada a mudança do leito filtrante do filtro de areia, tendo sido avaliados posteriormente o teor de SST e SDT nos pontos a montante e a jusante do mesmo filtro, encontrando-se os valores tabelados na **Tabela 3.2**.

**Tabela 3.2.** Registo dos valores obtidos para os parâmetros SST e SDT.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido	
		Tanque de Bombagem	Após filtro de areia
SST	mg/L	9,33	22,7
SDT	mg/L	199	241

Os dados apresentados na **Tabela 3.2** demonstram uma deficiência de funcionamento do filtro de areia, visto os teores de sólidos à saída do filtro serem superiores relativamente à entrada. De acordo com informações disponibilizadas pelo responsável pelo funcionamento do filtro de areia, aquando da recolha de água, o filtro apresentava um ineficaz processo de contra-lavagem devido a problemas técnicos, podendo justificar a existência de tais teores de sólidos após o processo de filtração.

### 3.2.2 Água de compensação da caldeira

Na **Tabela 3.3** apresentam-se os valores obtidos na quantificação de alguns parâmetros analisados na água de compensação que provém do amaciador, tal como apresentado na **Figura A.2**.

**Tabela 3.3.** Registo dos valores obtidos na avaliação da água de compensação da caldeira.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido
pH (T ≈ 20 °C)	Escala de Sorensen	6,67
Condutividade (T ≈ 20 °C)	μS/cm	275
Ferro	mg/L Fe	1,21
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	21,3
Alcalinidade M	mg/L CaCO <sub>3</sub>	70,7
Alcalinidade P	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0

A água à saída do amaciador apresenta uma diminuição acentuada da dureza, embora não se tenha atingido a sua nulidade, tal como é recomendável <sup>[14], [17]</sup>. No que diz respeito aos restantes parâmetros, estes não sofreram alterações extremas, verificando-se apenas um ligeiro aumento da alcalinidade total.

### 3.2.3 Água dos condensados da linha de vapor

Os condensados existentes na linha de vapor são transportados para o interior do desgaseificador com o objectivo de proporcionar uma melhor transferência de calor, devido a esta água possuir um poder calorífico significativo. A **Tabela 3.4** comporta os valores obtidos na caracterização dos condensados provenientes da linha de vapor.

**Tabela 3.4.** Registo dos valores obtidos na avaliação dos condensados.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido
pH (T ≈ 20 °C)	Escala de Sorensen	6,74
Condutividade (T ≈ 20 °C)	μS/cm	11,0
Cor	mg/L Pt-Co	26
Turvação	NTU	12

A água dos condensados, tal como era de esperar, contém uma reduzida condutividade e turvação, com valores de 11 μS/cm e 12 NTU, respectivamente, devido à quase inexistência de sólidos nos condensados.

### 3.2.4 Água de alimentação à caldeira

A água de alimentação à caldeira é composta pela junção de três correntes, sendo elas a água de compensação, a água dos condensados da linha de vapor e o vapor inserido no desgaseificador, tal como é apresentado na **Figura A.2**. A confluência destas águas ocorre no interior do desgaseificador, tendo este equipamento a função de reduzir o teor de CO<sub>2</sub> livre e O<sub>2</sub> da água de alimentação à caldeira, conhecidos pela sua capacidade corrosiva. Na **Tabela 3.5** encontram-se mencionados os valores da análise à água de alimentação à caldeira, bem como os valores limite para a garantia de pureza do vapor, de acordo com critérios da American Society of Mechanical Engineers (ASME) - "*Consensus on Operating Practices for the Control of Feedwater and Boiler Water Quality in Modern Industrial Boilers*" <sup>[14]</sup>. Nesta tabela são ainda apresentados os valores aconselháveis no tratamento “fosfato-pH coordenado”, assim como valores relativos à “proposta da norma de qualidade para a água de alimentação a caldeiras” <sup>[17]</sup>.

**Tabela 3.5.** Registo dos valores obtidos na avaliação da água de alimentação à caldeira.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido	Valor limite <sup>[14]</sup> (ASME)	Valor limite da proposta de norma <sup>[17]</sup>	Valores limite de “fosfato-pH coordenado” <sup>[17]</sup>
pH (T ≈ 20 °C)	Escala de Sorensen	10,14	7,5 – 10,0	7 - 9	8,8 – 9,6
Condutividade (T ≈ 20 °C)	µS/cm	363	-	300	10
Ferro	mg/L Fe	1,21	0,100	0,1	0,01
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	16,0	0,300	0,3	-
Alcalinidade M	mg/L CaCO <sub>3</sub>	242	-	-	-
Alcalinidade P	mg/L CaCO <sub>3</sub>	87,3	-	-	-
SST	mg/L	3,5	-	-	-
SDT	mg/L	180	-	-	-
Cobre	mg/L Cu	< L.Q.	0,050	0,05	0,01
Cor	mg/L Pt-Co	22	-	-	-
Turvação	NTU	16	-	-	-

A comparação entre os valores obtidos e os valores esperados para um correcto funcionamento, de acordo com indicadores específicos, leva a concluir que somente para o teor de cobre a água se encontra dentro do limite óptimo de funcionamento indicado pela ASME, pela proposta de norma, e pela aplicação do tratamento “fosfato-pH coordenado”.

No que diz respeito aos restantes indicadores, o pH de 10,14 encontra-se ligeiramente acima do valor aconselhável, principalmente do intervalo de valores da ASME, que impõe como limite o intervalo de 7,5 a 10. O ferro apresenta um valor superior ao recomendável, de valor igual a 1,21 mg/L, sendo cerca de dez vezes superior ao valor imposto pela ASME e pela proposta de norma, enquanto que para o tratamento à caldeira, o seu valor é cem vezes mais.

A dureza apresenta valor superior ao aconselhado, sendo a dureza correspondente a 16 mg/L, enquanto que o valor imposto não deve exceder uma dureza de 0,3 mg/L, sugerindo uma ineficaz permuta iónica no que concerne à remoção da dureza. Em relação à condutividade, verifica-se que esta se encontra um pouco acima do valor apresentado na proposta de norma, porém demasiado elevada em relação à condição de condutividade óptima para a aplicação do tratamento “fosfato-pH coordenado”. A condutividade da água de alimentação à caldeira, comparativamente com água após passagem no amaciador com condutividade de 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , apresenta um valor superior de 363  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , podendo este se dever à introdução de sólidos por via do vapor, o que levaria a um conseqüente aumento da condutividade da água à saída do desgaseificador, embora esta não seja uma hipótese plausível. Este aumento da condutividade poderá dever-se ao ponto de introdução do produto químico se encontrar um pouco antes do ponto de colheita da água de alimentação à caldeira, induzindo este a um processo de precipitação, acarretando um conseqüente acréscimo da condutividade, sendo esta a hipótese mais viável.

### 3.2.5 Água da caldeira

A **Tabela 3.6** apresenta os valores obtidos no dia 22 de Junho de 2010, de acordo com análises efectuadas pelo responsável do tratamento à caldeira. Esta tabela engloba também as especificações de controlo no que toca ao tratamento “fosfato-pH coordenado”, assim como os valores limite recomendados pela ASME, pela Association of electrical and steam unit owners (APAVE), de forma a obter vapor com qualidade, e pela American Boiler Manufactures Association (ABMA), tendo em vista a prevenção de formação de espuma.

**Tabela 3.6.** Registo dos valores para avaliação da água da caldeira.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido	Valor limite <sup>[14]</sup> (ASME)	Valores limite de “fosfato-pH coordenado” <sup>[17]</sup>	Valor limite <sup>[43]</sup> (APAVE)	Valor limite <sup>[17], [43]</sup> (ABMA)
pH (T ≈ 20 °C)	Escala de Sorensen	11,8	-	9,1 – 10,1	10,5 – 12	-
Condutividade (T ≈ 20 °C)	µS/cm	7350	3500	100	-	-
Dureza	mg/L	0	-	-	Amaciada	-
SDT	mg/L	5248	-	-	4000	3500
Turvação	NTU	12	-	-	-	-
Hidratos	mg/L	210	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	> 1000	-	-	-	-
Fosfatos	mg/L	45	-	-	30 – 100	-
Sílica	mg/L SiO <sub>2</sub>	0	150	-	200	150
Alcalinidade M	mg/L CaCO <sub>3</sub>	450	-	-	1000	700
Alcalinidade P	mg/L CaCO <sub>3</sub>	330	-	-	-	-
Alcalinidade total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	780	350	-	-	350

Na análise dos valores resultantes, constata-se que o pH, dureza, o teor de sílica e fosfatos, e a alcalinidade M, se encontram dentro da gama recomendável. Em relação à condutividade, o valor foi de 7350 µS/cm, sendo excessivamente superior aos valores para a aplicação do programa “fosfato-pH coordenado” e pelos valores aconselhados pela ASME, indicando como valores máximos o valor de 100 e 3500 µS/cm, respectivamente. O teor de sólidos dissolvidos na água da caldeira foi de 5248 mg/L, sendo superior ao indicado pela APAVE (4000 mg/L) e pela ABMA (3500 mg/L), bem como a alcalinidade, apresentando um valor cerca de duas vezes superior ao imposto pela ASME e pela ABMA.

Relativamente à alcalinidade M, esta encontra-se abaixo do valor limite apresentado pela ABMA e pela APAVE, obtendo-se um valor de 450 mg/L.

Uma das notas apresentadas pelo responsável da análise à água da caldeira, diz respeito à dureza determinada na água proveniente do amaciador, no mesmo dia de análise à água de caldeira, tendo sido determinado um valor de 60 ppm. Comparando o valor da

dureza da água na caldeira, sendo de 0 mg/L, com o valor obtido neste parâmetro no amaciador, não existe uma explicação lógica para o sucedido, visto que posteriormente ao amaciador, não existe qualquer tipo de produto e/ou equipamento capaz de reduzir a dureza na água.

### 3.2.6 Água de recirculação

A água de recirculação provém do tanque de água quente para posterior arrefecimento através da combinação de duas torres de arrefecimento. A água arrefecida tem como destino final o arrefecimento dos moldes inseridos nas máquinas dos moldados.

Tal como foi mencionado anteriormente, é necessário um conhecimento das características da água de recirculação, tendo por objectivo a prevenção de sujamento, bem como o desenvolvimento de bactérias prejudiciais à saúde pública. Na **Tabela 3.7** encontram-se registados os valores obtidos na caracterização da água de arrefecimento.

**Tabela 3.7.** Registo dos valores obtidos na análise da água de recirculação.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido
pH (T ≈ 20 °C)	Escala de Sorensen	7,68
Condutividade (T ≈ 20 °C)	μS/cm	184
Ferro	mg/L Fe	1,21
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	148
Alcalinidade M	mg/L CaCO <sub>3</sub>	147
Alcalinidade P	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0
CQO	mg/L O <sub>2</sub>	0
SST	mg/L	14,7
SDT	mg/L	123
Cloretos	mg/L Cl	30,3
Cor	mg/L Pt-Co	13
Turvação	NTU	12

A água de recirculação apresenta à superfície uma grande quantidade de esferovite, tal como é apresentado na **Figura 1.26**, sendo a determinação dos sólidos em suspensão

realizada com a remoção prévia dessa mesma esferovite. O valor de CQO é nulo, visto esta água ter sofrido anteriores tratamentos. A água apresentava-se límpida, no momento da colheita, o que se veio a reflectir pela avaliação laboratorial da cor e da turvação, registando-se os valores de 13 mg/L e 12 NTU, respectivamente. Em relação ao valor da dureza, sendo de 148 mg/L, existe a possibilidade da existência de sujamento no circuito de arrefecimento devido ao valor ser elevado.

### 3.2.7 Água dos condensados dos compressores

A compressão do ar produz a formação de condensados, provocando o arrastamento do óleo sintético conjuntamente com esses mesmos condensados. De acordo com a quantificação de óleo realizada ao condensado, verificou-se que a presença de óleo na amostra recolhida era de 43,3 mg/L, cerca de quatro vezes superior à quantidade máxima de descarga exigida para hidrocarbonetos, de acordo com a legislação local. Esta situação conduziria a danos ambientais, caso não fosse aplicada uma acção correctiva anteriormente à sua descarga. Deste modo, estes condensados encontram-se armazenados na empresa para posterior tratamento e descarga.

A amostra recolhida caracteriza-se por ser um óleo emulsionado, devido a não ser possível observar a presença de uma mistura bifásica, tal como ocorre em águas que contêm óleo livre. Na **Figura 3.2** é possível verificar visualmente essa diferença entre óleo emulsionado e óleo livre.



**Figura 3.2.** Comparação entre água com óleo emulsionado e água com óleo livre <sup>[44]</sup>.

O óleo emulsionado tem como origem a conjugação de mecanismos físicos e químicos, sendo eles <sup>[44], [45]</sup>:

- dispersão mecânica da mistura óleo-água, originando a introdução de gotas de uma das fases na outra;
- presença de um agente químico que proporciona a estabilização dessas mesmas gotas, não permitindo que se formem ligações entre elas.

A dispersão mecânica resulta da mistura da água com o óleo por ocorrência de introdução de ar<sup>[44]</sup>.

No que diz respeito ao agente químico, este possui carga eléctrica, sendo constituído por uma região hidrofóbica (apolar) e uma região hidrofílica (polar), o que possibilita a formação de uma ligação estável entre o óleo (apolar) e a água (polar). Este tipo de agente químico é designado por agente surfactante, devido à ligação ocorrer na interface do óleo e na interface da água, tal como é visível na **Figura 3.3**.



**Figura 3.3.** Formação da emulsão de óleo em água<sup>[44]</sup>.

A emulsão origina impactos negativos a nível ambiental visto que no meio hídrico, o óleo emulsionado quebra as suas ligações, provocando a formação de uma camada superficial na água e a libertação de aditivos, sendo estes maioritariamente de natureza tóxica<sup>[46]</sup>.

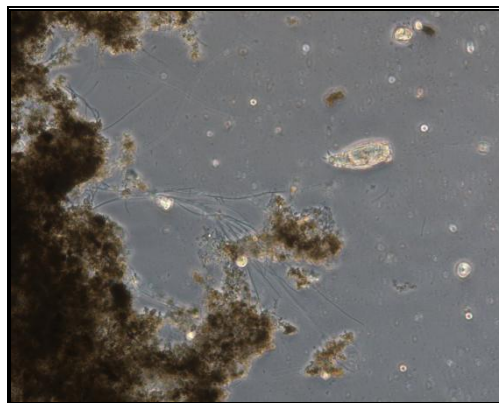
### 3.2.8 Camada viscosa

Nas paredes dos tanques de água, no interior dos tubos de condensado das máquinas de moldados e de blocos, e nos filtros das torres de arrefecimento, constata-se a presença de uma camada viscosa. De acordo com literatura consultada, esta camada poderá dever-se à existência de bactérias aeróbias formadoras de limo e/ou possivelmente à aglomeração sobre os tubos de resíduos de material, após refrigeração dos moldes<sup>[31], [36]</sup>. As ROPE segregam polímeros, que possibilitam a adesão da matéria em suspensão contida na água, criando uma matriz viscosa que poderá ter cor. Este grupo de microrganismos caracteriza-se pelo seu desenvolvimento ocorrer em habitats com temperaturas compreendidas entre 15 °C e 50 °C e um intervalo de pH na ordem de 4 a 8. As *Pseudomonas* distinguem-se no grupo das ROPE por serem as mais conhecidas e mais problemáticas; em oposição encontram-se as *Escherichia Coli*, não sendo muito vulgar a

sua presença. As *Flavobacterium* e as *Aerobacter* também são membros abrangidos neste grupo de bactérias <sup>[31], [35], [36]</sup>.

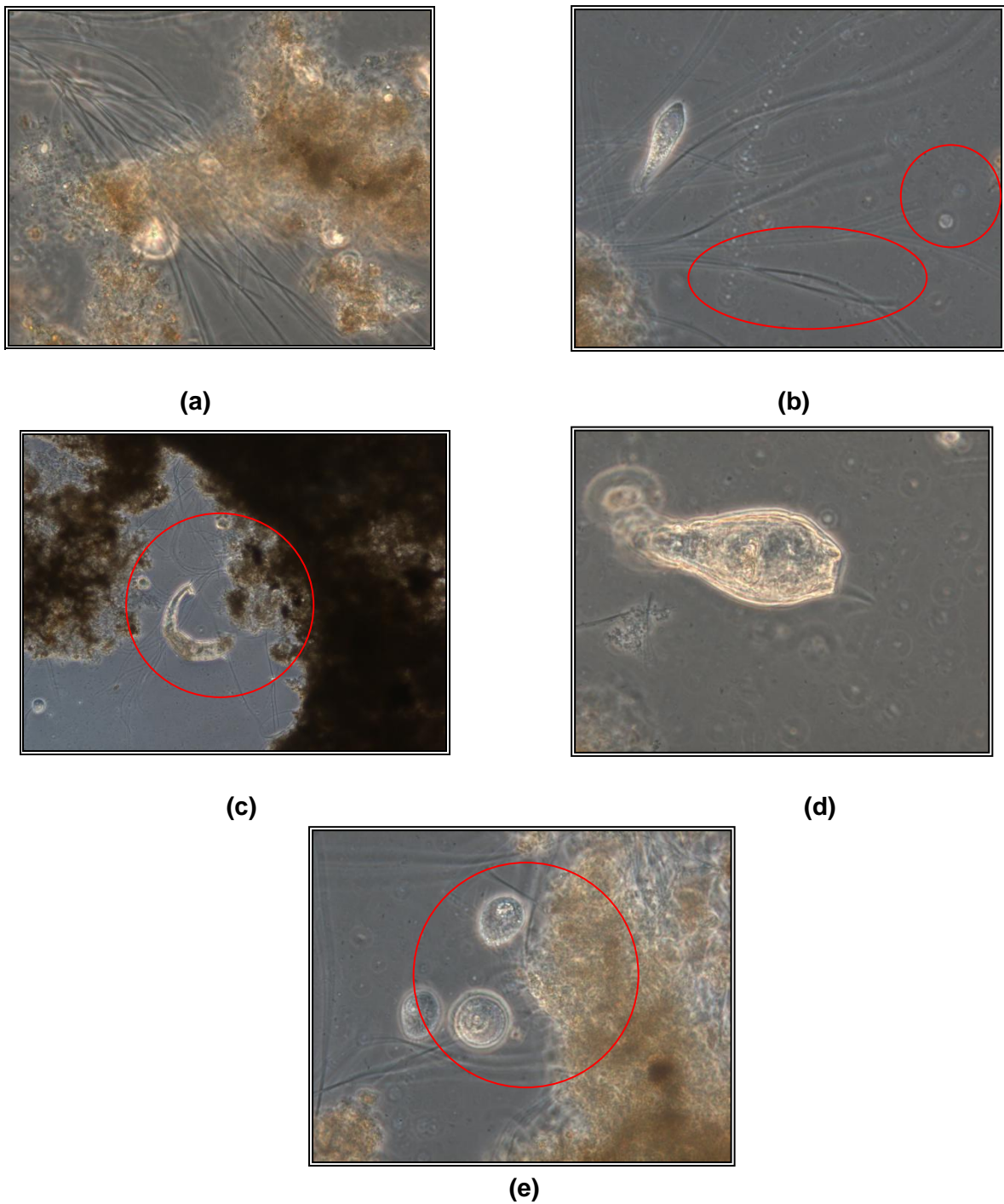
De modo a comprovar a presença ou não de ROPE, foi essencial uma análise ao pH, visto a temperatura da água que passa nos tubos de condensado aproximar-se da temperatura óptima de proliferação deste tipo de bactérias. A análise ao pH da água dos condensados das máquinas permitiu constatar que o pH se encontrava dentro dos limites de desenvolvimento das ROPE, tendo um pH de valor igual a 7,68.

Uma análise auxiliada pela microscopia foi essencial, de modo a confirmar a presença desse grupo de microrganismos. Assim, uma amostra da camada viscosa foi recolhida para posterior avaliação microbiológica. A observação a partir de microscopia óptica comprovou a existência de uma grande actividade microbiológica no local, verificando-se a presença de bactérias filamentosas e não filamentosas, protozoários e rotíferos, tal como se encontra visível na **Figura 3.4**. Esta comunidade microbiológica corrobora a presença de um biofilme no sistema industrial.



**Figura 3.4.** Imagem da fotografia por microscopia óptica do biofilme, com ampliação de 10x.

Nas **Figuras 3.5 a)** e **3.5 b)** é visível a presença de bactérias filamentosas e não filamentosas. Estas bactérias desempenham como função a degradação da matéria orgânica solúvel e coloidal existente no meio. Em relação às **Figuras 3.5 c)** e **3.5 d)**, é visível a presença de rotíferos, alimentando-se da estrutura do biofilme. Por fim, encontra-se representado na **Figura 3.5 e)** a presença de protozoários ciliados aprisionados em matéria particulada.



**Figura 3.5.** Imagens digitalizadas a partir de microscopia óptica: (a) e (b) observação de bactérias filamentosas e não filamentosas, com ampliação de 10x; (c) e (d) observação de rotíferos, com ampliação de 10x e 40x, respectivamente; (e) observação de protozoários ciliados, com ampliação de 40x.

### 3.2.9 Purga

A realização da purga de fundo numa caldeira visa controlar os requisitos exigidos para o funcionamento óptimo da caldeira, tal como a redução dos sólidos suspensos presentes no interior da caldeira. Os sólidos suspensos são originados pela contaminação da água de alimentação à caldeira, pela formação de precipitados causados pelo tratamento interno ou por excederem os limites de solubilidade, por parte dos sólidos solúveis<sup>[14]</sup>.

Há a salientar o facto da recolha da água proveniente da purga ter sido realizada no tanque de purga, sendo a amostra colhida à superfície desse mesmo tanque. Este facto, leva a que os valores obtidos para os sólidos suspensos não sejam os mais exactos, visto estes se encontrarem depositados no fundo do tanque de purga. A **Figura 3.6** é ilustrativa do automatismo de purga da caldeira, demonstrando a impossibilidade de recolha da água de purga logo à sua saída. Na **Tabela 3.8** encontram-se representados os valores obtidos na análise da água de purga.



**Figura 3.6.** Purga descontínua da caldeira.

**Tabela 3.8.** Registo dos valores obtidos na avaliação da água da purga.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido
pH (T ≈ 20 °C)	Escala de Sorensen	12,22
SST	mg/L	559
SDT	mg/L	4902
Cor	mg/L Pt-Co	550
Turvação	NTU	604

Na água colhida do tanque de purga era possível verificar visualmente uma grande turvação, algo que mais tarde foi comprovado a partir da quantificação laboratorial da

turvação e cor, obtendo-se os valores de 604 NTU e 550 mg/L, respectivamente. No entanto, em relação aos sólidos suspensos, é visível na **Tabela 3.8** que esse valor poderá estar aquém do valor real, devido às condições de colheita explicadas anteriormente, tendo sido registado o valor de 559 mg/L. O pH apresenta valor alto, sendo de 12,22, devido à adição de produtos químicos usados no tratamento da água da caldeira, tendo em vista a protecção do equipamento.

### 3.2.10 Descarga industrial

O efluente industrial é descarregado num colector municipal, seguindo os requisitos legais vigentes no Edital nº 397/96, Anexo C, do Artigo 63, presente na Câmara Municipal de Matosinhos, de 28 de Junho de 1996, apresentados na **Figura C.5**. De forma a respeitar os requisitos exigidos pela legislação, a Petibol pretende estar a par das características de descarga do seu efluente. Assim, a Petibol envia amostras do seu efluente para laboratórios externos, afim de aferir os parâmetros requeridos pela legislação local. A empresa externa *Biogerm laboratórios* avaliou no mês de Março de 2010 o efluente da Petibol, a partir da colheita no colector existente no local, obtendo como resultados os apresentados na **Tabela 3.9**. Nessa mesma tabela encontram-se os valores limite para a descarga em colectores municipais, de acordo com o Edital.

**Tabela 3.9.** Registo dos valores obtidos na avaliação do efluente.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido	Valor limite
pH (T ≈ 22 °C)	Escala de Sorensen	10,3	6,0 – 9,0
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO)	mg/L O <sub>2</sub>	10	-
CQO	mg/L O <sub>2</sub>	16	2000
SST	mg/L	35	1000
Hidrocarbonetos totais	mg/L	5	10

A partir da análise dos valores presentes na tabela, constata-se que somente o valor de pH excede o valor limite exigido pela legislação municipal. Uma análise global leva a concluir que a água da purga é a água que mais contribui para a obtenção de um pH elevado, devido a esta corrente possuir um pH de valor igual a 12,22.

### 3.2.11 Moldes

A **Figura 3.7** documenta o estado dos moldes consoante o seu tempo de funcionamento, verificando-se na **Figura 3.7 a)** um molde que apresenta cor clara, em oposição ao molde da **Figura 3.7 b)**, em que se verifica uma tonalidade acastanhada, podendo significar a presença de ferro nas paredes do molde.



(a)



(b)

**Figura 3.7.** Fotografia de moldes existentes na Petibol: (a) molde em estado novo; (b) molde após utilização.

## Resumo da caracterização

Em suma, a água do circuito apresenta valores de ferro acima do recomendável, bem como valores de sólidos superiores acima dos indicados, conduzindo a valores de condutividade superiores aos indicados em determinados pontos do circuito. A dureza é mais um dos parâmetros a ter em especial atenção, visto a sua total remoção não estar a ser conseguida. No que diz respeito ao circuito de arrefecimento, verifica-se a existência de uma comunidade microbológica, possuindo as condições ótimas para a sua proliferação.

Um outro aspecto reflecte-se no valor de pH da descarga industrial, sendo superior ao exigido por lei. No que concerne ao óleo emulsionado, há que ter em vista a redução do teor de óleo para valores inferiores de cerca de quatro vezes do valor presente no condensado, de forma a cumprir com os requisitos impostos pela legislação do município de Matosinhos.

## 4 PROJECTO FUTURO

---

---

No presente capítulo são enumeradas as alterações propostas ao processo, tendo em vista potenciar um aproveitamento de energia e apontamentos de melhorias a nível da qualidade da água. O principal foco de aproveitamento parte da energia calorífica contida da água nos circuitos da empresa, sendo apresentados neste capítulo os custos da sua implementação, bem como os custos que poderão advir no seu funcionamento.

---



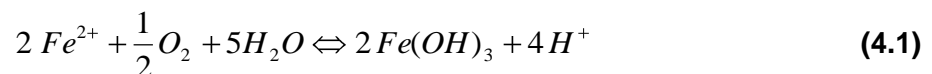
## 4.1 Projecto Futuro

O esquema representado na **Figura D.1** foi elaborado por parte da empresa Petibol, tendo em vista o aproveitamento energético. Tendo como ponto de partida o esquema proposto, e considerando os problemas apontados na avaliação da água do circuito industrial, estudou-se formas de contornar os problemas enumerados, bem como equipamentos que possibilitem a recuperação energética da água industrial.

### 4.1.1 Redução do teor de Ferro

De forma a reduzir a presença de ferro nas águas, é proposto a conjugação de três processos, sendo eles o arejamento, coagulação, seguido de filtração.

Em águas subterrâneas, é muito comum o ferro apresentar-se na forma oxidada de  $Fe^{2+}$ . O arejamento permite que o ferro, por reacção com o oxigénio presente no ar, sofra uma oxidação e se transforme em  $Fe^{3+}$ . Devido à baixa solubilidade do  $Fe^{3+}$  em água, este catião é facilmente oxidado, formando assim o precipitado de hidróxido férrico, de acordo com a seguinte equação química <sup>[42]</sup>:



Este precipitado tende a flocular e decantar, existindo a possibilidade de ocorrer um fenómeno de adsorção à superfície <sup>[42]</sup>.

A oxidação por via do oxigénio atmosférico, é um processo dependente do valor de pH e um pouco moroso. De acordo com a literatura, são necessários cerca de 43 minutos para oxidar 90% de  $Fe^{2+}$  a um pH de 6,9, e cerca de 8 minutos para um pH de 7,2. De forma a garantir a oxidação de  $Fe^{2+}$ , é aconselhável a inserção de um processo de coagulação <sup>[47]</sup>. A coagulação permite a agregação dos óxidos de ferro presentes na água, podendo ser afectada pelas condições da água, tais como a temperatura, a alcalinidade, Carbono Orgânico Total (COT) e pH, pelas características operacionais, que podem alterar o estado hidrodinâmico do meio hídrico, e por fim, pode ser afectada pelo tipo e dosagem do coagulante utilizado <sup>[48]</sup>.

O tipo de coagulante mais utilizado para a coagulação dos sais de ferro corresponde ao coagulante inorgânico sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ). Há a salientar o facto do processo de coagulação/floculação com sulfato de alumínio acarretar por vezes problemas com as lamas formadas, devido à deposição das lamas não ser aceite em todos os aterros. Na **Tabela C.31**, do **Anexo C**, encontram-se os valores dos ensaios, com vista à obtenção das

melhores condições de coagulação, enquanto que no **Anexo D.5** são apresentados os cálculos para a determinação da dosagem de coagulante. A mesma dosagem é efectuada com o auxílio de uma bomba doseadora, e em relação à elevação do pH para valor igual a 9, este acerto é levado a cabo pela injeção de hidróxido de sódio, através de um sistema de regulação automática do valor de pH, composto por uma bomba doseadora, tubos, sonda de aspiração, depósito químico, escape de emergência para a prevenção de entupimentos, entre outros. A correcção do pH deverá ocorrer instantes antes da adição do coagulante, devendo este controlo ser programado no temporizador da bomba doseadora. A adição do corrector de pH e do coagulante deve ocorrer no circuito de água, logo após a saída do tanque de bombagem.

O electro-agitador deve ser instalado no tanque de bombagem, com o intuito de possibilitar a oxigenação da água.

Por fim, é necessário um processo de filtração de forma a remover as partículas em suspensão, utilizando assim o filtro de areia (FA1) como equipamento de filtração, encontrando-se este dimensionado no **Anexo D.2**, devido ao actual apresentar deficiências de funcionamento e inapropriadas dimensões. Em relação à camada filtrante, recomenda-se a inclusão de uma dupla camada no interior do filtro, sendo esta composta por antracite e areia. Uma das vantagens apresentadas pela areia prende-se com a obtenção de uma maior qualidade no que respeita à água tratada, enquanto que a antracite é a ideal para que haja um menor consumo de água durante a lavagem do filtro <sup>[47]</sup>.

A adopção de dois meios filtrantes implica um cuidado excedente para que não ocorra uma mistura entre eles. Por essa mesma razão, há que ter em conta as seguintes expressões <sup>[42]</sup>:

$$T_{ef.antracite} \geq 1,8T_{ef.areia} \quad (4.1)$$

$$T_{ef.antracite} \leq 2,1T_{ef.areia} \quad (4.2)$$

A lavagem periódica do filtro em contra-corrente deve ser tal que permita a expansão do leito filtrante entre 30 a 50% do seu volume, durante um período de 10 a 15 minutos ou até que a água de lavagem esteja isenta de partículas <sup>[47]</sup>. Relativamente à velocidade de lavagem, esta é dependente da temperatura e da granulometria do meio filtrante utilizado, encontrando-se tabeladas as velocidades da areia e da antracite na **Tabela D.2** e **Tabela D.3 (Anexo D)**, respectivamente <sup>[42]</sup>.

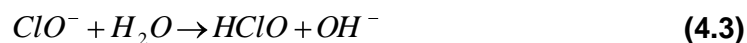
Na **Tabela 4.1** encontram-se referenciados os equipamentos essenciais para a remoção do ferro, encontrando-se no **Anexo D.3** uma caracterização mais aprofundada dos equipamentos, e no **Anexo D.5** o custo anual de coagulante.

**Tabela 4.1.** Listagem dos equipamentos/produtos químicos de coagulação/arejamento.

<b>Equipamentos / Produtos químicos</b>	<b>Modelo</b>	<b>Dimensões (altura x diâmetro) (mm)</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Preço (€) (sem IVA)</b>
Electro – agitador	DAG 1200/0,33/940/PP/T		Petrolusa	600,00
Bomba doseadora	HC 100 PI		MicroPAL	1.200,00
Sulfato de alumínio			Petrolusa	6.072,00
Hidróxido de sódio (granulado)	25 kg		Petrolusa	35,00
Bomba doseadora	HC 100 PH		MicroPAL	550,00
Depósito químico de 100 L			MicroPAL	120,00
Sensor de pH			MicroPAL	30,00
Filtro de areia (FA1)	FTC 263/21	1945 x 550	MicroPAL	1900,00
			<b>Preço total</b>	<b>10.507,00</b>

#### 4.1.2 Desinfecção da linha industrial

No que toca à desinfecção da unidade industrial, é proposto o emprego de hipoclorito de sódio (NaClO), levando à formação de ácido hipocloroso (HClO) a partir da reacção com a água, de acordo com a seguinte equação <sup>[47]</sup>:



A desinfecção do sistema é tanto maior quanto maior a concentração de HClO, em oposição do ião hipoclorito (ClO<sup>-</sup>). Na **Tabela 4.2** encontram-se as percentagens de ácido hipocloroso e ião hipoclorito, para uma temperatura de referência de 20 °C, em função do pH, sendo a tabela adaptada do livro *Piscinas: Tratamento de águas e utilização de energia* <sup>[47]</sup>.

**Tabela 4.2.** Valores percentuais de HClO e ClO<sup>-</sup> em função do valor de pH <sup>[47]</sup>.

pH	HClO (%)	ClO <sup>-</sup> (%)
6,0	97	3
7,0	73	27
7,2	63	37
7,5	50	50
7,9	24	76
8,5	8	92

Para além da sua acção desinfectante, o cloro e seus derivados apresentam-se como agentes oxidantes, auxiliando assim na oxidação do Fe<sup>2+</sup> <sup>[42], [47]</sup>.

No processo de coagulação, logo após a adição do sulfato de alumínio, o pH da água decai para um valor de aproximadamente 6, sendo o valor ideal para que ocorra uma boa desinfecção, de acordo com a **Tabela 4.2**. Por este motivo, é aconselhável que a desinfecção ocorra após o fenómeno de coagulação, sendo instalado no circuito da água.

De forma a remover odores e coloração, bem como a remover o cloro adicionado, é aconselhável a inclusão de um filtro de carvão activado, encontrando-se o seu dimensionamento no **Anexo D.2**. A adição de desinfectante deve ocorrer no circuito, logo após a passagem no filtro de areia.

Na **Tabela 4.3** é apresentado o equipamento de desinfecção proposto, o desinfectante e o filtro de carvão activado, bem como o seu custo. No **Anexo D.3** constam dados relativos à caracterização do filtro de carvão activado, assim como da bomba doseadora, e no **Anexo D.5** é exposto o cálculo do consumo anual de desinfectante.

**Tabela 4.3.** Listagem dos equipamentos/produtos químicos de desinfecção.

Equipamentos / Produtos químicos	Modelo	Dimensões (altura x diâmetro) (mm)	Fornecedor	Preço (€) (sem IVA)
Hipoclorito de sódio			MicroPAL	4.612,61
Filtro de carvão activado	DAQ 200/40 M	2400 x 550	MicroPAL	1.900,00
Bomba doseadora	HC 100 PI		MicroPAL	600,00
			<b>Preço total</b>	<b>7.112,61</b>

### 4.1.3 Aproveitamento energético

A inclusão de uma válvula termostática de três vias permite a mistura da corrente proveniente dos furos artesianos com uma corrente contendo água do tanque de água fria, originando uma corrente de alimentação à central de vácuo, permitindo assim o aproveitamento da água presente no tanque de água fria. Esta válvula possui um actuador que permite regular a temperatura desejada para a corrente final, devendo esta temperatura situar-se entre 5 e 25 °C <sup>[49]</sup>. O consumo de água das correntes de mistura varia consoante a temperatura apresentada no tanque de água fria, de forma a que a corrente final possua o valor de temperatura esperado. A condução das correntes de água até à válvula é levada a cabo por duas bombas com balão, existindo já no local uma das bombas para a condução da água proveniente dos furos.

Uma outra medida de aproveitamento energético corresponde à inserção de uma serpentina no interior do tanque de água quente, fazendo passar no interior da serpentina a água oriunda dos furos artesianos. Esta medida permite um aumento da temperatura da água de 15 °C até à temperatura de cerca de 40 °C, tendo-se limitado a temperatura até aos 40 °C, visto o amaciador suportar uma temperatura máxima de 45 °C. Esta medida permite a redução do consumo de vapor por parte do desgaseificador, assim como a redução da possibilidade de ocorrência de choque térmico. O dimensionamento da serpentina encontra-se demonstrado no **Anexo D.2.**, possuindo um período de retorno de investimento de 88, 6 anos, de acordo com o **Anexo D.7**, não sendo assim um equipamento viável. Permanece assim a segunda torre de arrefecimento, que seria retirada caso a serpentina fosse viável, de forma a diminuir a temperatura da água. No que diz respeito à inclusão de um segundo equipamento de permuta de calor, este demonstrou-se desfavorável, visto o tanque de água quente possuir valores de temperatura próximos de 50 °C, não possibilitando assim um aumento significativo de temperatura da corrente de água. A **Tabela 4.4** menciona todos os equipamentos que permitem uma recuperação do poder calorífico emanado pela água do circuito, em locais específicos, apresentando-se no **Anexo D.3** os detalhes referentes a estes equipamentos.

**Tabela 4.4.** Listagem dos equipamentos de recuperação energética.

Equipamentos	Fornecedor	Preço (€) (sem IVA)
Serpentina	Ferreira de Carvalho, Brandão & C. <sup>a</sup> , Lda	1.300,00
Bomba com balão	João Caseiro	174,85
Válvula termostática de três vias	ETOPI	40,25
Actuador eléctrico	ETOPI	130,66
<b>Preço total</b>		<b>1.645,76</b>

#### 4.1.4 Separação do óleo nos condensados

Um dos problemas enunciados corresponde à presença de óleo emulsionado, podendo este problema ser contornado com a instalação de um separador. Este separador promove a separação do óleo da água a partir da adsorção do óleo por parte do carvão activado contido no interior do equipamento, encontrando-se referido na **Tabela 4.5**. Há que considerar na escolha deste equipamento que os custos de operação inerentes à renovação do carvão activado são muito elevados. No **Anexo D.3** apresentam-se algumas das informações respeitantes a este equipamento, cedidas por parte da empresa *Iberoair*, que comercializa o equipamento.

**Tabela 4.5.** Listagem dos equipamentos de separação do óleo emulsionado.

Equipamentos / Produtos químicos	Modelo	Fornecedor	Preço (€) (sem IVA)
Separador óleo-água	HS1800	Iberoair	1.320,00
<b>Preço total</b>			<b>1.320,00</b>

#### 4.1.5 Redução do pH a nível da descarga industrial

A obtenção de valores de pH, acima do permitido por lei, leva a que seja necessário a implementação de um sistema de regularização do pH, para que os valores da descarga passem a estar contidos no intervalo recomendável da legislação municipal. Assim, recomenda-se que este sistema seja colocado na linha de descarga, após a confluência de todas as correntes. O sistema de regulação de pH, mencionado na **Tabela 4.6**, permite

determinar o valor de pH, sendo administrada uma solução ácida à descarga, de forma automática, quando o valor de pH excede o limite estipulado. De salientar que o custo de ácido sulfúrico não foi contabilizado nos gastos, visto não ser possível determinar a quantidade utilizada anualmente na correcção do pH. O detalhe pormenorizado deste sistema consta no **Anexo D.3**.

**Tabela 4.6.** Listagem dos equipamentos/produtos químicos de correcção de pH.

<b>Equipamentos / Produtos químicos</b>	<b>Modelo</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Preço (€) (sem IVA)</b>
Bomba doseadora	HC 100 PH	MicroPAL	550,00
Depósito químico de 100 L		MicroPAL	120,00
Sensor de pH		MicroPAL	30,00
Ácido sulfúrico		MicroPAL	2,00 €/L
<b>Preço total</b>			<b>700,00</b>

#### 4.1.6 Filtração da água de arrefecimento (FA2)

Parte da água que é conduzida para o tanque de água quente contém restos de material proveniente dos moldes. Tal como foi mencionado anteriormente, o sujamento é uma das causas de menores eficiências na transferência de calor nas torres de arrefecimento, sendo necessário a colocação de um meio filtrante, de forma a reduzir o teor de sólidos. Na **Tabela 4.7**, é apresentado um equipamento de filtração, de acordo com o dimensionamento apresentado no **Anexo D.2**. No **Anexo D.3** são apresentadas as características técnicas deste equipamento de filtração.

**Tabela 4.7.** Listagem do equipamento de filtração do circuito de arrefecimento.

<b>Equipamentos</b>	<b>Dimensões (altura x diâmetro) (mm)</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Preço (€) (sem IVA)</b>
Filtro de areia	1000 x 1050	Ambietel	2.420,00
<b>Preço total</b>			<b>2.420,00</b>

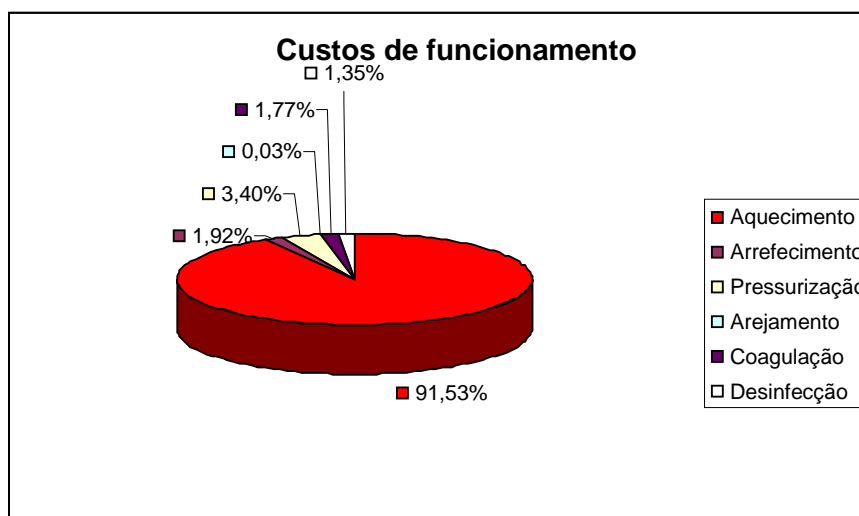
Na **Figura D.2** é apresentado o esquema final, englobando os equipamentos propostos, assim como as alterações subsequentes das condições operatórias no circuito da água.

## 4.2 Custos de funcionamento futuros

Nos custos de funcionamento foram englobados, não só os custos de aquecimento, arrefecimento e pressurização, como também os custos relativos aos processos de arejamento, coagulação e desinfecção. De salientar que nos custos de coagulação não foi contabilizado o consumo do incrementador de pH, visto o seu consumo ser variável, consoante o pH da água oriunda dos furos.

A **Figura 4.1** apresenta um significativo peso por parte do consumo de aquecimento, correspondendo a cerca de 92%, tal como acontece nos custos actuais, em que a contribuição percentual é de 95%. Em contrapartida, os custos que representam um menor peso por parte da empresa correspondem aos custos inerentes ao arejamento da água do tanque de bombagem, equivalendo a 0,03% dos gastos globais no funcionamento industrial. Prevê-se que o custo de funcionamento aumente, comparativamente aos custos anuais de funcionamento actuais, para o valor de 342.487,19 €, correspondendo a um peso percentual de 3,36%.

No **Anexo D.6** encontram-se todos os dados e informações que permitiram o cálculo dos custos futuros do funcionamento industrial, a partir da implementação dos equipamentos propostos.



**Figura 4.1.** Custos de funcionamento do circuito de água.

### 4.2.1 Custos de aquecimento

Os custos futuros associados ao aquecimento da água diferem dos custos actuais em relação ao consumo de gás, visto existir uma redução do consumo devido à implementação da serpentina no tanque de água quente. O gráfico da **Figura 4.2** representa os equipamentos que possibilitam a produção de vapor, verificando-se que não existe qualquer diferença percentual dos mesmos equipamentos comparativamente com o peso percentual actual. O custo total desta operação corresponde a 313.477,13 €, equivalendo a uma redução anual de 0,005% em relação ao custo actual do aquecimento, devendo-se esta redução da quantidade percentual à introdução da serpentina, permitindo um decréscimo no consumo de gás.

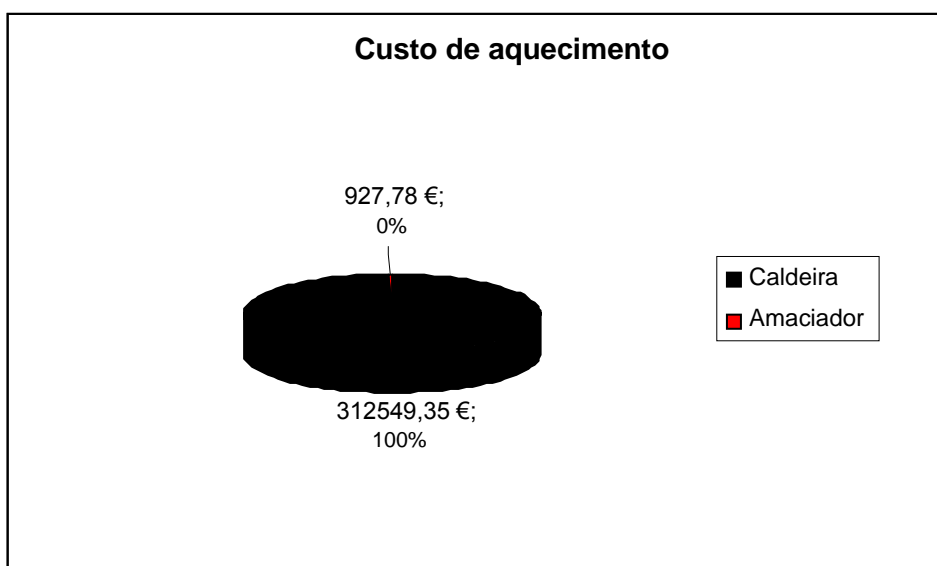


Figura 4.2. Custos inerentes ao aquecimento de água.

### 4.2.2 Custos de arrefecimento

Os custos de arrefecimento futuros não se diferenciam dos custos actuais, sendo de 6.589,13 €, visto a inserção de um segundo permutador de calor não constituir uma solução, mantendo-se assim o mesmo número de torres de arrefecimento.

#### **4.2.3 Custos de pressurização**

No que diz respeito aos custos de pressurização, estes continuam a ser o segundo maior gasto ao nível do circuito da água, correspondendo a um valor de 11.639,72 €. A alteração existente, comparativamente ao custo actual, corresponde ao custo ligado ao funcionamento da bomba com balão, acarretando um aumento no custo de pressurização de 3,4% em relação aos custos actuais.

#### **4.2.4 Custos de tratamentos (arejamento/coagulação/desinfecção)**

Os custos referentes à remoção do teor de ferro e à desinfecção remetem para um valor de 10.781,21 €, sendo um valor excedente aos processos industriais preexistentes.

### 4.3 Análise da viabilidade dos equipamentos

De forma a ter uma noção dos consequentes benefícios e desvantagens que o equipamento acarreta, é realizada na **Tabela 4.8** uma análise global dos equipamentos e processos propostos no tecido industrial.

**Tabela 4.8.** Avaliação geral dos equipamentos/processos.

Equipamento	Vantagens	Desvantagens
Arejamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilita a oxidação do ferro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionamento diário do electro-agitador, conduzindo a um aumento no consumo de electricidade.</li> </ul>
Coagulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição do teor de ferro por adição de coagulante;</li> <li>• O pH final corresponde ao óptimo para a adição do desinfectante hipoclorito de sódio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de sulfato de alumínio e hidróxido de sódio;</li> <li>• Necessidade de um controlo do pH;</li> <li>• Obrigatório a inclusão de um sistema de filtração.</li> </ul>
Desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo de desinfectante [42].</li> <li>• Fácil aplicação [42].</li> <li>• Redução ao nível de sujamento;</li> <li>• Permite a eliminação ou inactivação da maior parte de microrganismos patogénicos [42], [47].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de hipoclorito de sódio;</li> <li>• Necessidade de estabelecimento de um valor de pH;</li> <li>• Inserção de filtro de carvão activado, de forma a que não exista a presença de odor e cor na água, bem como o cloro não inviabilize a resina catiónica.</li> </ul>

**Tabela 4.9.** Avaliação geral dos equipamentos/processos (cont.).

<b>Equipamento</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Aproveitamento energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de redução do consumo de água e de desperdício energético por via da válvula termostaticada;</li> <li>• Diminuição da ocorrência de choque térmico no desgaseificador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de inclusão de uma bomba com balão, implicando custos ao nível da pressurização;</li> <li>• Baixa poupança do consumo de gás a partir da inserção da serpentina;</li> <li>• Payback period elevado para a serpentina.</li> </ul>
Separação de óleo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção do óleo no condensado do compressor;</li> <li>• Protecção ambiental;</li> <li>• Descarga dos condensados de acordo com a legislação municipal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento elevado;</li> <li>• Necessidade de troca de carvão activado a partir de um determinado período de funcionamento;</li> <li>• O óleo separado deve ser recolhido por uma empresa externa para posterior tratamento.</li> </ul>
Redução de pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protecção ambiental;</li> <li>• Cumprimento do requisito para o valor de pH na legislação municipal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de ácido sulfúrico</li> </ul>
Filtração no circuito de arrefecimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição de sólidos no circuito de arrefecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de água no processo de contra-lavagem.</li> </ul>

## **5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE FUTUROS TRABALHOS**

---

Este capítulo pretende apresentar as principais conclusões obtidas no decorrer da elaboração da dissertação, bem como enunciar sugestões para possíveis trabalhos a realizar na empresa.

---



O presente trabalho centrou-se na avaliação da qualidade e colmatação dos problemas associados à água no circuito industrial e na recuperação do poder calorífico da água.

No que respeita à qualidade da água, as avaliações laboratoriais comprovaram que este recurso não possui as condições exigidas em certos equipamentos, podendo originar deficiências no correcto funcionamento dos equipamentos. O filtro de areia é um desses equipamentos, apresentando um teor de sólidos superior após passagem no meio filtrante, o mesmo acontecendo após a substituição da camada filtrante. De acordo com o responsável pelo funcionamento do filtro, a causa da incorrecta filtração poderá prender-se com a existência de um problema técnico a nível do processo de contra-lavagem. Um outro problema associado a este equipamento corresponde às suas inadequadas dimensões, sendo sugerido no **Anexo D.2** o dimensionamento do filtro de areia, de acordo com os dados recolhidos na literatura <sup>[47]</sup>.

O amaciador é mais um dos equipamentos que apresenta deficiências, não possibilitando a total remoção da dureza da água, tal como é pretendido. Este equipamento, sendo composto somente por uma unidade, leva a que não ocorra permuta iónica durante a fase de regeneração, sendo que a água nesse período não é amaciada. Assim, é aconselhável a inclusão de mais uma coluna de amaciamento, de forma a que, quando uma coluna estiver na fase de regeneração, a outra se encontre em serviço, funcionando assim de forma alternada.

A água de alimentação à caldeira apresenta valores não concordantes com a exigência apresentada nas especificações, tendo por vezes valores excessivos em comparação com os estipulados na ASME, na proposta de norma e no tratamento “fosfato-pH coordenado”. Os parâmetros que não apresentam concordância correspondem à condutividade, ao teor de ferro, pH e à dureza. De referir que o pH apresenta valor igual a 10,14, sendo ligeiramente superior aos valores mencionados na ASME (7,5 – 10,0) e no tratamento “fosfato-pH coordenado” (7 – 9), embora exista uma maior diferença em comparação com os valores referidos na proposta de norma (8,8 – 9,6). Em relação à condutividade, de valor igual a 363  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , embora não seja significativamente superior ao valor apresentado na proposta de norma (300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), comparativamente ao valor óptimo para o tratamento “fosfato-pH coordenado” (10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), o seu valor é excessivo. A dureza e a concentração de ferro apresentam valores muito superiores ao expectável para uma água de alimentação à caldeira, tendo um excesso de dureza de cerca de 47% e, em relação ferro, este possui um valor dez vezes superior ao limite imposto pela ASME e da proposta de norma, e de cem vezes mais relativamente ao tratamento à caldeira.

As características dessa água, dever-se-ão ao incorrecto e deficiente tratamento a montante da caldeira. De forma a contornar a problemática do excessivo teor de ferro e da constante troca de camada filtrante do filtro, é sugerido a implementação da conjugação de três processos, sendo eles o arejamento, a coagulação e a filtração. De salientar que o processo de coagulação necessita de um custo anual de 6.072,00 €, estando este valor relacionado com a dosagem de coagulante necessário para o processo.

No que toca à água no interior da caldeira, esta possui valores superiores aos sugeridos (ASME, ABMA, APAVE e aplicação do tratamento “fosfato-pH coordenado”), correspondendo à condutividade (7350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), ao teor de sólidos dissolvidos (5248 mg/L), à alcalinidade M (450 mg/L) e à alcalinidade total (780 mg/L).

A descarga industrial possui um pH superior ao mencionado na legislação municipal, sendo a água purgada da caldeira a que mais contribui para este aumento do pH, possuindo um valor de pH superior a 12. Assim, é sugerido um sistema de regularização do pH, sendo adicionado, de forma controlada, um acidificante à água de descarga até atingir um pH dentro dos limites impostos por lei.

Um equipamento que merece um especial cuidado corresponde à torre de arrefecimento, sendo necessário uma particular atenção no que diz respeito ao sujamento pois a sua presença reduz a eficiência na transferência de calor, verificando-se um decréscimo na temperatura de 41,8 °C para 26 °C. Assim é sugerido um filtro de areia, dimensionado de acordo com as características de operação, possuindo um custo de 2.420,00 €.

A visualização, por microscopia óptica, de uma amostra de sujidade retirada de uma das torres de arrefecimento, levou a concluir a existência de um biofilme, pela presença de uma comunidade microbiana característica. De forma a minimizar as condições propícias à sua proliferação na unidade industrial, optou-se pela inserção de um processo de cloração, por via da injeção de hipoclorito de sódio no circuito de água, afim de desinfectar toda a água industrial. O custo associado a este processo corresponde a um custo anual de 4.612,61 €.

Um outro problema prendia-se com a impossibilidade de descarga da água proveniente dos condensados originados na compressão do ar, visto a água ser composta por óleo emulsionado. A partir de um ensaio laboratorial, constatou-se que a quantidade de óleo presente na água era superior a 40 mg/L, correspondendo a quatro vezes mais o valor permitido por lei para descarga. De forma a contornar a situação, é sugerido a presença de um separador óleo-água, sendo o óleo retido a partir de um fenómeno de adsorção pelo carvão activado.

Aconselha-se uma constante avaliação da qualidade da água, de forma a contornar factores indesejáveis desde o seu início e a minimizar gastos inerentes aos estragos associados a uma má qualidade da água.

Relativamente ao aproveitamento energético, é proposto a existência de uma válvula termostaticada de três vias, com um actuador de controlo da temperatura, sendo estipulado pelo operador a temperatura a que deverá entrar a água na Central de Vácuo. Esta medida permite uma reutilização da água existente no tanque de água fria, diminuindo assim o consumo da água oriunda dos furos.

A serpentina é mais um dos equipamentos que promove a transferência de calor, possibilitando assim um aumento de 15 °C para 40 °C. O payback da serpentina corresponde a 88,6 anos, não sendo assim uma proposta viável.

Em relação aos custos de funcionamento actuais, a maior parcela corresponde aos de aquecimento, com uma percentagem de 95%; os custos de arrefecimento e pressurização correspondendo a 2 e 3%, respectivamente.

Relativamente ao custo de funcionamento associado à implementação dos novos equipamentos, este corresponde a um custo que ronda 342.000,00 €, contrapondo os custos actuais com um valor de cerca de 331.000,00 €, significando em termos percentuais um aumento em 3,36%.

Aconselha-se uma constante monitorização dos parâmetros na água, de forma a possuir um maior controlo e proceder de forma mais eficiente na eliminação de lacunas que possam existir na qualidade da água, assim como na garantia da eficiência de tratamento.



## BIBLIOGRAFIA

- 1 Wikipédia. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:LocalFregMatosinhos-Le%C3%A7aDoBalio.svg> (acedido em 8 de Maio de 2010).
- 2 Pereira, A.E., Torres, S., 1999. Padrões habitacionais na área metropolitana do Porto, Estatísticas e Estudos Regionais. INE. [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_estudos&ESTUDOSest\\_boui=106061&ESTUDOSmodo=2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_estudos&ESTUDOSest_boui=106061&ESTUDOSmodo=2) (descarregado em 8 de Maio de 2010).
- 3 Censos – Resultados definitivos. Região Norte – 2001. 2002. INE. [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=377623&PUBLICACOESmodo=2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=377623&PUBLICACOESmodo=2) (descarregado em 8 de Maio de 2010).
- 4 Unicer. <http://www.unicer.pt/fotos/gca/1114788826mapa1.jpg>, (acedido em 8 de Maio de 2010).
- 5 Petibol. <http://www.petibol.pt/> (acedido em 7 de Maio de 2010).
- 6 Grote, Z.V., Silveira, J.L.. Análise termodinâmica de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (ISOPOR): Um estudo de caso. São Paulo, Rio de Janeiro. FEG – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá e UNESP – Universidade Estadual Paulista. [http://www.eng.ufrgs.br/cursos/pos/ProInt/Trabalhos/2004/exergy/Jose\\_Luz\\_Grote.pdf](http://www.eng.ufrgs.br/cursos/pos/ProInt/Trabalhos/2004/exergy/Jose_Luz_Grote.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 4 de Fevereiro de 2010).
- 7 BASF. Packaging with Styropor. [www.basf.com.br/PSMLoad.dll?id=5010&usage=501](http://www.basf.com.br/PSMLoad.dll?id=5010&usage=501) (versão PDF do documento descarregada em 4 de Fevereiro de 2010).
- 8 Acepe. [http://www.acepe.pt/eps/eps\\_prop\\_dur.asp](http://www.acepe.pt/eps/eps_prop_dur.asp) (acedido em 11 de Maio de 2010).
- 9 Ballesteros, S.D., Koleski, S.D., 2007. Redução do impacto ambiental pela reciclagem de resíduos de polipropileno expandido na produção de autopeças. Taubaté. Rev. biociên., , v.13, n.3-4, p. 167-177. <http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/biociencias/article/view/292/238> (versão PDF do documento descarregada em 11 de Maio de 2010).

- 10** Santos, M.M., 1998. Reciclagem de poliolefinas por hidrocraqueamento. Universidade Estadual de Campinas. <http://biq.igm.unicamp.br/arquivos/teses/vtIs000129166.pdf> (versão PDF do documento descarregada em 11 de Maio de 2010).
- 11** BASF. Neopolen P – Automotive Packaging Innovation. <http://www.basf.com.br/PSMLoad.dll?id=2738&usage=501> (versão PDF do documento descarregada em 10 de Maio de 2010).
- 12** BASF. Neopolen P – Technical Information. [http://worldaccount.basf.com/wa/plasticsAP~en\\_GB/function/conversions:/publish/common/upload/foams/neopolen\\_technical\\_leaflets/Neopolen\\_P\\_technical\\_information.pdf](http://worldaccount.basf.com/wa/plasticsAP~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/foams/neopolen_technical_leaflets/Neopolen_P_technical_information.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 1 de Maio de 2010).
- 13** BASF. Neopolen P. [http://worldaccount.basf.com/wa/plasticsAP~en\\_GB/function/conversions:/publish/common/upload/foams/neopolen\\_p\\_brochure.pdf](http://worldaccount.basf.com/wa/plasticsAP~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/foams/neopolen_p_brochure.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 1 de Maio de 2010).
- 14** GE Power & Water. Handbook of Industrial Water Treatment. <http://www.gewater.com/handbook/index.jsp> (documento descarregado em 2 de Abril de 2010).
- 15** Kemmer, F.N., 1988. The Nalco Water Handbook, McGraw Hill Book Company, Inc., 2ª Edição, New York.
- 16** <http://www.esac.pt/rnabais/GAREIA2007-2008/AGUAECALDEIRAS/BOILERSGAREIA.ppt> (documento descarregado em 4 de Fevereiro de 2010).
- 17** Teixeira, F., Pereira I., Santos R., Beleza V. 2001. Tratamento de água de caldeiras. Cadernos 7 Profissionais. Politema. Instituto Politécnico do Porto.
- 18** Kern, D.Q., 1999. Procesos de transferencia de calor, 31ª Edição, McGraw Hill Book Company, Inc..

- 19** Júnior, L.C.. Introdução às máquinas térmicas – Caldeiras. <http://www.ebah.com.br/maquinas-termicas-pdf-a43463.html> (documento descarregado a 6 de Maio de 2010).
- 20** Gaspar, C., 2004. Eficiência energética na Indústria, Cursos de Utilização Racional de Energia, ADENE, Gaia. <http://horacio.no.sapo.pt/Eficiencia%20Energetica%20na%20Industria%20ADENE.pdf> (versão PDF do documento descarregada a 6 de Maio de 2010).
- 21** Trovati, J. Tratamento de água para geração de vapor: caldeiras. Corona. [http://www.snatural.com.br/PDF\\_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf](http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf) (versão PDF do documento descarregada a 7 de Maio de 2010).
- 22** Reassor Quimica. <http://www.reassor.com.br/dicas.htm> (documento descarregado a 6 de Maio de 2010).
- 23** Gois, J., 2006. Tratamento de água em instalações industriais. <http://www2.dem.uc.pt/jose.gois/A8%20-%20Tratamento%20de%20aguas.pdf> (versão PDF do documento descarregada a 23 de Fevereiro de 2010).
- 24** Luqueta G.R., 2008. Princípio da esterilização por calor úmido – Como funciona uma autoclave, 25-29. [http://www.baumer.com.br/Baumer/upload/artigo/Portugues/principio\\_esterilizacao\\_calor\\_um\\_ido.pdf](http://www.baumer.com.br/Baumer/upload/artigo/Portugues/principio_esterilizacao_calor_um_ido.pdf) (versão PDF do documento descarregada a 8 de Fevereiro de 2010).
- 25** Samson Pumps. <http://www.samson-pumps.com/default.aspx?pageID=53&lang=en>, (acedido em 8 de Maio de 2010).
- 26** Cheremisinoff, N.P., Cheremisinoff, P.N., 1981. Cooling Towers: Selection, Design and Practice, Ann Arbor Science, Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan.
- 27** Schulz, D., Ceconi, T., Schulz, A., Batista, C., Parucker L., 2005. Doença dos legionários: Uma revisão, vol. 37 (4): 251 – 255, Brasil. [http://www.sbac.org.br/pt/pdfs/rbac/rbac\\_37\\_04/rbac3704\\_12.pdf](http://www.sbac.org.br/pt/pdfs/rbac/rbac_37_04/rbac3704_12.pdf), (versão PDF do documento descarregada a 14 de Abril de 2010).

- 28** Chang, R., 2005. Química, 8ª edição, Mc Graw Hill Companies, Inc..
- 29** Merçon F., Guimarães P., Mainier F., Maio de 2004. Corrosão: Um exemplo usual do fenómeno químico. Rio de Janeiro. <http://www.ebah.com.br/artigo-sobre-corrosao-pdf-a27499.html>, Maio de 2004, (acedido em 17 de Abril de 2010).
- 30** Riella H.. Corrosão, Universidade Federal de Santa Catarina. <http://www.ebah.com.br/apostila-completa-de-corrosao-pdf-a27497.html>, (acedido em 17 de Abril de 2010).
- 31** Teixeira, F., Pereira I., Santos R., Beleza V., 1996. Tratamento de águas de arrefecimento. Cadernos 5 Profissionais. Politema. Instituto Politécnico do Porto.
- 32** Coulson, J.M., Richardson, J.F., 1983. Tecnologia Química, vol VI, Fundação Calouste Gulbenkian.
- 33** Garcia, M.S.. A influencia da qualidade da água de alimentação na planta de vapor. Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Seção de reparo de caldeiras, Brazil. [http://www.fontemeventos.com/xxicopinaval/031/031\\_SANCHES\\_GARCIA\\_MAUICIO.pdf](http://www.fontemeventos.com/xxicopinaval/031/031_SANCHES_GARCIA_MAUICIO.pdf), (versão PDF do documento descarregada a 3 de Junho de 2010).
- 34** Cooling Technology Institute, Fevereiro de 2000. Legionellosis, Guidelines: Best Practices for Control of Legionella. [http://www.armacan.com/pdf-zip/legion\\_2000.pdf](http://www.armacan.com/pdf-zip/legion_2000.pdf), (versão PDF do documento descarregada a 17 de Março de 2010).
- 35** Machado, S.M., 2005. Avaliação do efeito antimicrobiano do surfactante cloreto de benzalcónio no controlo da formação de biofilmes indesejáveis, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Biológica. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3466/1/Tese%20Final.pdf>, (versão PDF do documento descarregada a 16 de Abril de 2010).
- 36** Deterioração Microbiana de Alimentos. Lamam – Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular, UFSCar – Centro de Ciências Agrárias, Arquivos da disciplina de Processos Agroindustriais 2. <http://blog.cca.ufscar.br/lamam/disciplinas/processos-agroindustriais->

[2/,http://www.cca.ufscar.br/lamam/disciplinas\\_arquivos/aula5\\_deterioracao.doc](http://www.cca.ufscar.br/lamam/disciplinas_arquivos/aula5_deterioracao.doc) (documento descarregado a 2 de Março de 2010).

**37** Grundfos Portugal. <http://www.grundfos.com/web/HOMEPT.NSF/Webopslag/CAMO-59ZE2M>, (documento descarregado a 17 de Abril de 2010)

**38** Pereira, M.O., 2001. Comparação da eficiência de dois biocidas (carbamato e glutaraldeído) em sistemas de biofilme, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Biológica, Braga. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/189/1/Tese%2030.pdf>, (versão PDF do documento descarregada a 20 de Abril de 2010).

**39** Instituto de Meteorologia de Portugal. <http://www.meteo.pt/pt/otempo/previsaodescritiva/>, (acedido em 8 de Fevereiro e 10 de Março de 2010).

**40** Barnes, D., Bliss, P.J., Gould, B.W., Valentine H.R. 1981. Water and Wastewater Engineering Systems, Pitman Books Limited, Sydney, Austrália.

**41** Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos, Março de 2003, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. [http://www.farmacia.ufmg.br/lato/downloads/validacao\\_inmetro.pdf](http://www.farmacia.ufmg.br/lato/downloads/validacao_inmetro.pdf), (versão PDF do documento descarregada a 1 de Julho de 2010).

**42** Richter, C. e Netto, J., 1991. Tratamento de água – Tecnologia actualizada, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, Brasil.

**43** Lenntech. Characteristics of boiler feed water. <http://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feedwater-characteristics.htm>, (acedido em 4 de Junho de 2010).

**44** Engenho Novo. Tratamento de águas oleosas nas indústrias. <http://www.engenovo.com.br/pt/artigostecnicos/taoind.pdf>, (versão PDF do documento descarregada a 26 de Fevereiro de 2010).

- 45** Herro, M.H. e Port, R D., 1995. Guía Nalco para el análisis de fallas en los sistemas de enfriamiento por agua, Mc Graw Hill, México.
- 46** Lopes, A., 1999. Estudo da remoção de óleos emulsionados de efluentes industriais. FEUP, Porto. <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12520/2/Texto%20integral.pdf>, (versão PDF do documento descarregada a 8 de Junho de 2010).
- 47** Beleza, V.M., Santos, R., Pinto, M., 2007. Piscinas: Tratamento de águas e utilização de energia. Politema. Instituto Politécnico do Porto.
- 48** Guedes, C.D., Pereira, J.G., Lena J.C., Paiva, J.F., Lima, R.M., Setembro e Outubro de 2004. Coagulação/floculação de suspensões ricas em óxidos de ferro por sulfato de alumínio, Quím. Nova, vol.27. no.5, São Paulo, Brasil. [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422004000500007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422004000500007&script=sci_arttext), (versão PDF do documento descarregada a 28 de Julho de 2010).
- 49** BASF. Vacuum technology in expanded foam production.
- 50** EDP. <http://www.edpsu.pt/pt/empresas/tarifasehorarios/Pages/TarifaMT.aspx>, (acedido em 11 de Abril de 2010).
- 51** EDP. <http://www.edpsu.pt/pt/empresas/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosMAT.aspx>, (acedido em 11 de Abril de 2010).
- 52** Code of Practice for the Control of Legionella Bacteria in Cooling Towers, Institute of Environmental Epidemiology, Agosto de 1992. [http://www.nea.gov.sg/cms/qed/cop\\_legionella.pdf](http://www.nea.gov.sg/cms/qed/cop_legionella.pdf), (versão PDF do documento descarregada a 14 de Abril de 2010).
- 53** Fundação Nacional de Saúde, 2006. Manual prático de análise de água. 2ª ed. Ver., Departamento de Engenharia de Saúde Pública, Brasília. [http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_analise\\_agua\\_2ed.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_analise_agua_2ed.pdf), (versão PDF do documento descarregada a 20 de Fevereiro de 2010).

- 54 Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. Wastewater Engineering - Treatment and Reuse, Fourth Edition, Metcalf & Eddy, Inc..
- 55 Clescerl, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D., 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- 56 EuCheMS. <http://www.euchems.org/Distinguished/20thCentury/sorensen.asp>, (acedido em 21 de Abril de 2010).
- 57 Figueiredo, S., 2008. Caracterização de águas. Apontamentos da disciplina de Laboratório de Tecnologias de Protecção Ambiental I do Mestrado de Engenharia Química – ramo de Tecnologias de Protecção Ambiental, ISEP, IPP.
- 58 CETESB. <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#cloreto>, (acedido em 27 de Abril de 2010).
- 59 Análises Físico-Químicas – Cor, turbidez pH, temperatura, alcalinidade e dureza, MIEB 2007/2008, Universidade do Minho. <http://biologica.eng.uminho.pt/TAEL/downloads/analises/cor%20turbidez%20ph%20t%20alcalinidade%20e%20dureza.pdf>, (versão PDF do documento descarregada a 24 de Abril de 2010).
- 60 QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA. <http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica2.htm>, (acedido em 27 de Abril de 2010).
- 61 Silva, Z.. Apontamentos da cadeira de Química – Física e Termodinâmica, Departamento de Engenharia Química, ISEP, IPP.
- 62 SpiraxSarco. <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-tables.asp>, (acedido em 18 de Setembro de 2010).
- 63 Geankoplis, C.J., 1993. Transport Processes and Unit Operations, Third Edition, Prentice – Hall International, Inc..

- 64** Coulson, J.M. e Richardson, J.F., 1977. Tecnologia Química – Fluxo de fluidos, Transferência de Calor e Transferência de Massa, Volume I, 3ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian.
- 65** Holman, J.P., 1983. Transferência de Calor, McGraw – Hill, Inc.
- 66** Coulson, J.M. e Richardson, J.F., 1983. Tecnologia Química – Uma Introdução ao Projecto em Tecnologia Química, Volume VI, Fundação Calouste Gulbenkian.
- 67** SpiraxSarco. Livro. <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/pressurised-deaerators.asp>, (acedido em 24 de Setembro de 2010).
- 68** Grundfos. [http://www.grundfos.com/web/homept.nsf/Grafikopslag/Tabela\\_seleccao\\_kits\\_desinfeccao\\_09/\\$file/Tabela%20de%20seleccao%20de%20kits.pdf](http://www.grundfos.com/web/homept.nsf/Grafikopslag/Tabela_seleccao_kits_desinfeccao_09/$file/Tabela%20de%20seleccao%20de%20kits.pdf), (versão PDF do documento descarregada a 10 de Setembro de 2010).

# ANEXOS



## ANEXO A

---

---

Este anexo pretende apresentar o panorama actual da empresa, apresentando os esquemas actualizados referentes à Sala de Bombagem, Sala da Caldeira e Sala Técnica, bem como serve de apoio na percepção dos custos de funcionamento actuais do circuito de água.

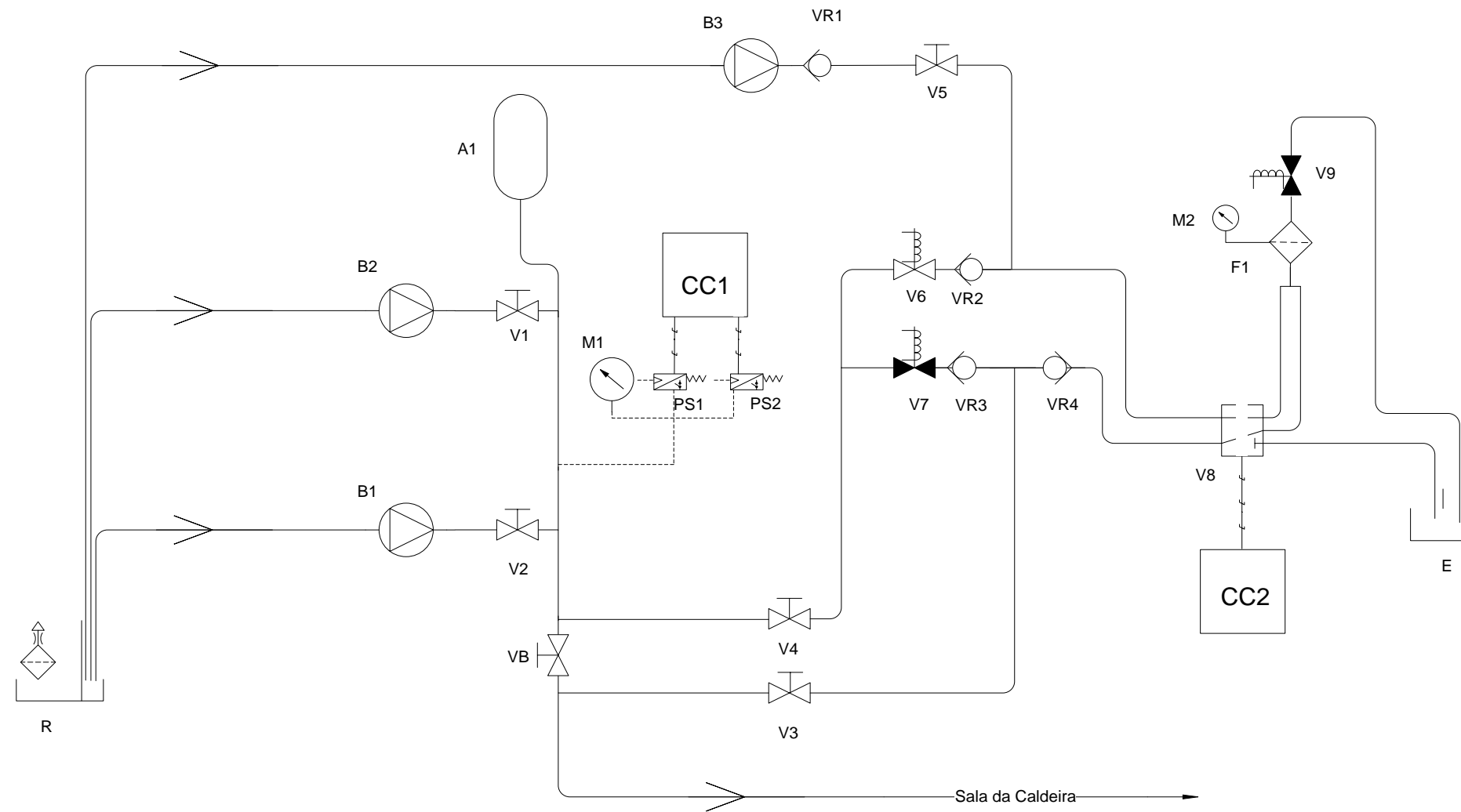
---



## **Anexo A.1. Esquemas da unidade industrial Petibol, S.A. – Embalagens de Plástico**

Na **Figura A.1**, **Figura A.2** e **Figura A.3** apresentam-se os esquemas actualizados da Sala de Bombagem, da Sala da caldeira e da Sala Técnica, respectivamente.





Índice	Designação	Ref:	Índice	Designação	Ref:
A1	Acumulador 4.5 Bar	80 L	V2	Válvula	
B1	Bomba	Nº interno 101	V3	Válvula	
B2	Bomba	Nº interno 100	V4	Válvula	
B3	Bomba Contra Lavagem		V5	Válvula	
CC1	Caixa Controlo		V6	Electroválvula N/A	
CC2	Caixa Controlo		V7	Electroválvula N/F	
E	Esgoto		V8	Electroválvula 5 Vias	
F1	Filtro de Areia		V9	Electroválvula N/F	
M1	Manómetro 0-10 bar		VB	Válvula by-pass	
M2	Manómetro 0-10 bar		VR1	Válvula de Retenção	
PS1	Pressostato		VR2	Válvula de Retenção	
PS2	Pressostato		VR3	Válvula de Retenção	
R	Reservatório		VR4	Válvula de Retenção	
V1	Válvula				


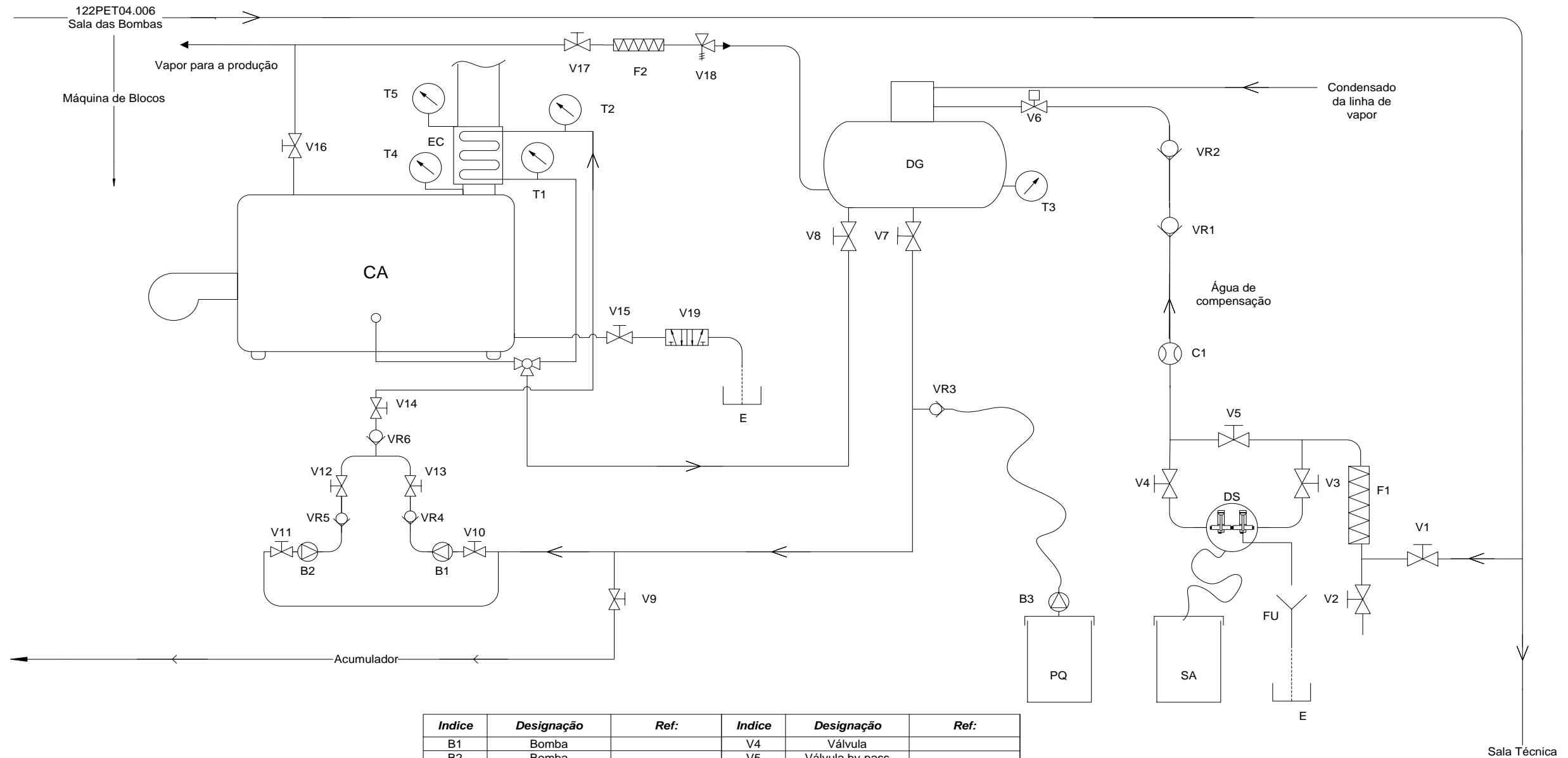
Obs:	Título:	Material:	Volume:
 embalagens de plástico s.a. desenho@petibol.pt	<b>Sala de Bombagem</b>	ISO 128	Escala:
	Data:	Nome:	Código:
	Desenhado a:	Márcia Silva	<b>122PET04.006</b>
	Verificado a:		Doc:
Aprovado a:		Original A3	Folha nº 1/1

Figura A.1. Esquema actualizado da Sala de Bombagem.





Índice	Designação	Ref:	Índice	Designação	Ref:
B1	Bomba		V4	Válvula	
B2	Bomba		V5	Válvula by-pass	
B3	Bomba Doseadora		V6	Válvula Electropneumática	
CA	Caldeira		V7	Válvula	
C1	Contador		V8	Válvula	
DS	Descalcificador		V9	Válvula	
DG	Desgaseificador		V10	Válvula	
EC	Economizador		V11	Válvula	
E	Esgoto		V12	Válvula	
F1	Filtro		V13	Válvula	
F2	Filtro		V14	Válvula	
FU	Funil		V15	Válvula	
PQ	Produto Químico		V16	Válvula	
SA	Salmoura		V17	Válvula	
T1	Termómetro		V18	Válvula Redutora de Pressão	
T2	Termómetro		V19	Válvula Pneumática	
T3	Termómetro		VR1	Válvula de Retenção	
T4	Termómetro		VR2	Válvula de Retenção	
T5	Termómetro		VR3	Válvula de Retenção	
V1	Válvula		VR4	Válvula de Retenção	
V2	Válvula		VR5	Válvula de Retenção	
V3	Válvula		VR6	Válvula de Retenção	

Obs:


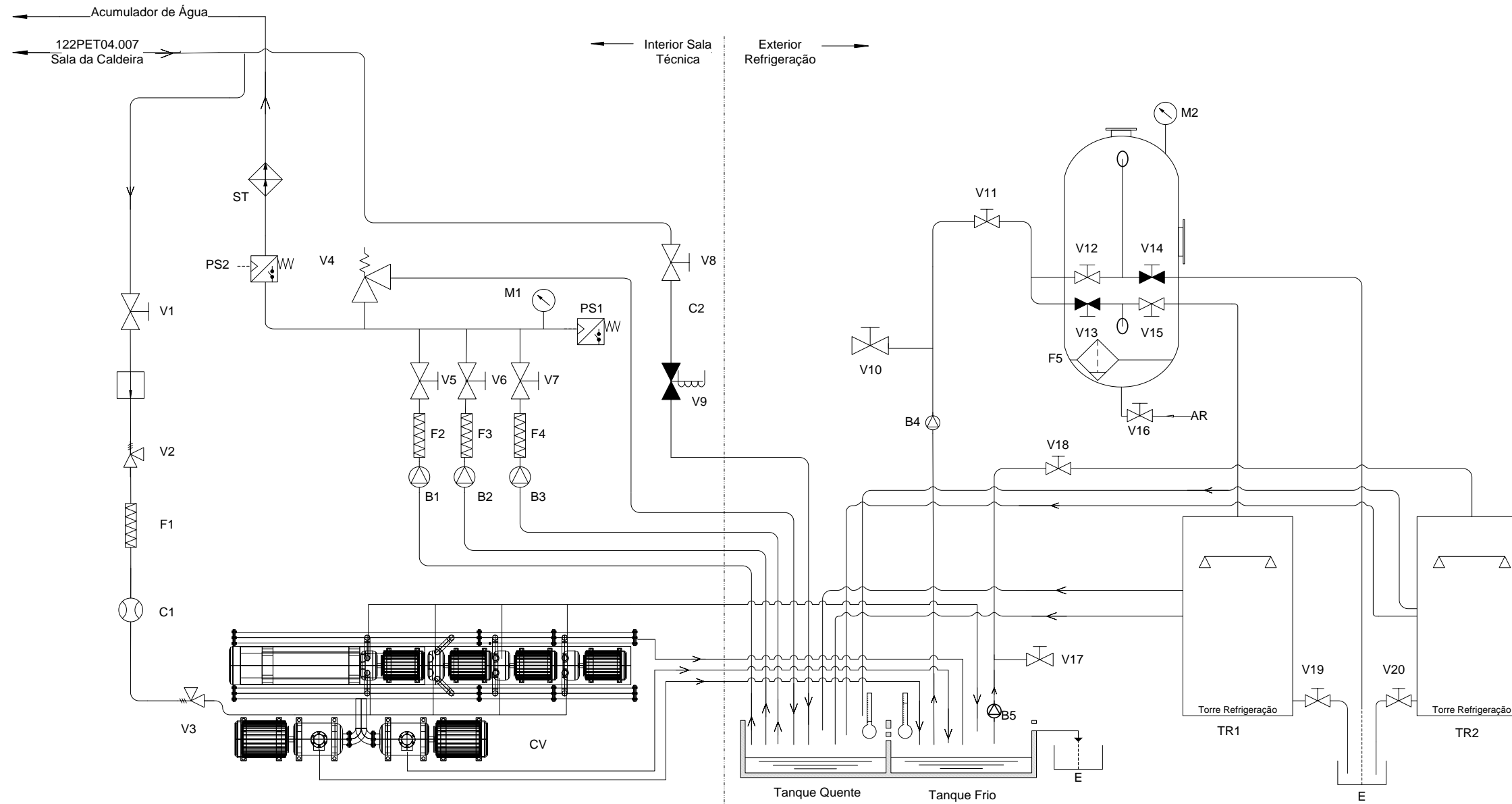
 petibol embalagens de plástico s.a. desenho@petibol.pt	Título: <b>Sala da Caldeira</b>		Material: ISO 128
	Desenhado a: 19/06/2010	Nome: Márcia Silva	Código: 122PET04.007
	Verificado a:	Aprovado a:	Doc: Original A3

Figura A.2. Esquema actualizado da Sala da Caldeira.





Índice	Designação	Ref:	Índice	Designação	Ref:
B1	Bomba		TR2	Torre de Refrigeração	
B2	Bomba		V1	Válvula	
B3	Bomba		V2	Válvula Redutora de Pressão	
B4	Bomba		V3	Válvula Redutora de Pressão	
B5	Bomba		V4	Válvula Pressão	
C1	Contador		V5	Válvula	
C2	Contador		V6	Válvula	
CV	Central de Vácuo		V7	Válvula	
E	Esgoto		V8	Válvula	
F1	Filtro		V9	Electroválvula n/f	
F2	Filtro		V10	Válvula	
F3	Filtro		V11	Válvula	
F4	Filtro		V12	Válvula	
F5	Filtro de Areia		V13	Válvula N/F	
M1	Manómetro		V14	Válvula N/F	
M2	Manómetro		V15	Válvula	
PS1	Pressostato		V16	Válvula	
PS2	Pressostato		V17	Válvula	
SC	Sensor de Caudal		V18	Válvula	
ST	Sensor de Temperatura		V19	Válvula	
TR1	Torre de Refrigeração		V20	Válvula	



desenho@petibol.pt

Título: <b>Sala Técnica</b>		Material:	
		ISO 128	
Desenhado a:	Data: 24/03/2010	Nome: Márcia Silva	Código: <b>122PET04.008</b>
Verificado a:			Doc: Original A3
Aprovado a:			

Figura A.3. Esquema actualizado da Sala Técnica.



## Anexo A.2. Custos do funcionamento industrial actual

Os custos de funcionamento reportam-se à actividade exercida no ano de 2009, respeitante à utilização de água no circuito da unidade industrial.

### ➤ Custo de electricidade

A **Figura A.4** representa uma factura disponibilizada pela Petibol, onde se encontra demonstrado o tipo de tarifário a que o contrato engloba.

NOME DA INSTALAÇÃO	N.º EQ	POT. REQUISITADA	POT. INSTALADA	POT. CONTRATADA	DATA	N.º CONTRATO	TARIFA DO CONTRATO	CICLO HORÁRIO
AVENIDA DA BELAVISTA	1	400 kVA	400.0 kVA	393.75 kW	12-2009	B204218001	MTS-Longas UT, Tetra-Horária	DIÁRIO

**Figura A.4.** Factura da electricidade da Petibol.

De acordo com informações disponibilizadas pela empresa *Energias de Portugal* (EDP), o tarifário em vigor desde Janeiro de 2010, referente aos quatro períodos horários para tarifas de longas utilizações, correspondente à tarifa de média tensão, é apresentado na **Tabela A.1**. De salientar que os períodos I e IV correspondem ao período de Inverno, enquanto que os períodos II e III dizem respeito ao período de Verão.

**Tabela A.1.** Tarifário de longas utilizações <sup>[50]</sup>.

Período trimestral	Horas de ponta	Horas de cheias	Horas de vazio normal	Horas de super vazio
I	0,1058	0,081	0,0514	0,0481
II	0,1092	0,0833	0,0535	0,0497
III	0,1092	0,0833	0,0535	0,0497
IV	0,1058	0,081	0,0514	0,0481

O horário, respeitante ao ciclo diário transitório de 70h para a tarifa de média tensão, foi disponibilizado por parte da EDP, sendo posteriormente o horário transformado em número de horas diárias para cada um dos regimes, tal como é apresentado na **Tabela A.2**.

**Tabela A.2.** Horário para tarifa de média tensão <sup>[51]</sup>.

Regime	Horário de Inverno	Horas diárias	Horário de Verão	Horas diárias
<b>Ponta</b>	9:30 - 11:30	4	10:30 - 12:30	4
	19:00 - 21:00		20:00 - 22:00	
<b>Cheias</b>	8:00 - 9:30	10	9:00 - 10:30	10
	11:30 - 19:00		12:30 - 20:00	
	21:00 - 22:00		22:00 - 23:00	
<b>Vazio normal</b>	22:00 - 02:00	6	23:00 - 2:00	6
	6:00 - 8:00		6:00 - 9:00	
<b>Super vazio</b>	2:00 - 6:00	4	2:00 - 6:00	4

O custo horário da electricidade para as duas estações, foi determinado a partir dos dados anteriormente mencionados, obtendo-se os custos os mencionados na **Tabela A.3.**

**Tabela A.3.** Custos horários de electricidade para Inverno e Verão.

Custo de Inverno (€/kWh)	Custo de Verão (€/kWh)
0,07225	0,07457

### Exemplo de cálculo para o custo de Inverno

*Custo de Inverno=*

$$= \left[ (Ponta_i \times horas\ de\ Ponta_i) + (Cheia_i \times horas\ de\ Cheia_i) + \right. \\ \left. + (Vazionormal_i \times horas\ de\ Vazionormal_i) + (Supervazio_i \times horas\ de\ Supervazio_i) \right] / 24 =$$

$$= \left[ (0,1058 \times 4) + (0,081 \times 10) + (0,0514 \times 6) + (0,0481 \times 4) \right] / 24 = 0,07225 \text{ €/kWh}$$

### Observações:

O mesmo procedimento foi efectuado para a determinação do custo de Verão.

### ➤ Custo de gás natural

No que diz respeito à tarifa do gás natural, esta foi determinada a partir de dados fornecidos pela factura da EDP gás, tendo o valor médio de 0,02634€/kWh, tal como é apresentado na **Tabela A.4**. De forma a converter de m<sup>3</sup> para kWh de gás natural, foi necessário a aplicação de um factor de conversão, sendo este obtido através do poder calorífico superior (PCS). O factor de conversão corresponde a 11,85, tendo sido obtido a partir da determinação da média dos valores de PCS diários, correspondentes ao mês de Dezembro, apresentados na **Figura A.5**.

Data	Consumo m <sup>3</sup>	Valor PCS	Consumo kWh
01-12-2009	0	11,73206200	0
02-12-2009	4.083	11,78197400	48.106
03-12-2009	4.848	11,79769500	57.195
04-12-2009	5.132	11,84585900	60.793
05-12-2009	1.097	11,84993100	12.999
06-12-2009	0	11,80266200	0
07-12-2009	0	11,77808400	0
08-12-2009	0	11,74821800	0
09-12-2009	3.246	11,83998600	38.433
10-12-2009	4.065	11,86702900	48.239
11-12-2009	4.180	11,94510600	49.931
12-12-2009	1.311	11,91174500	15.616
13-12-2009	0	11,92150700	0
14-12-2009	3.076	11,83110000	36.392
15-12-2009	4.114	11,81723200	48.616
16-12-2009	4.147	11,90002100	49.349
17-12-2009	3.981	11,90010100	47.374
18-12-2009	4.817	11,89105400	57.279
19-12-2009	1.203	11,89089100	14.305
20-12-2009	0	11,83376400	0
21-12-2009	3.286	11,88049900	39.039
22-12-2009	4.046	11,88614200	48.091
23-12-2009	3.564	11,84211600	42.205
24-12-2009	890	11,83380900	10.532
25-12-2009	0	11,86766400	0
26-12-2009	0	11,85786500	0
27-12-2009	0	11,85102300	0
28-12-2009	0	11,85693900	0
29-12-2009	0	11,86210300	0
30-12-2009	0	11,86878100	0
31-12-2009	0	11,84539500	0

**Figura A.5.** Relatório dos consumos mensais, relativamente ao mês de Dezembro de 2009.

**Tabela A.4.** Dados referentes à EDP gás.

	EDP gás			
	m <sup>3</sup>	€ (sem IVA)	kWh	€/kWh
<b>Janeiro</b>	81238	28216,63	962670,3	0,02931
<b>Fevereiro</b>	72038	25043,95	853650,3	0,02934
<b>Março</b>	81072	28159,33	960708,4	0,02931
<b>Abril</b>	81119	27770,22	961260,2	0,02889
<b>Maio</b>	94689	30813,84	1122065	0,02746
<b>Junho</b>	82032	27225,74	972079,2	0,02801
<b>Julho</b>	95116	26736,61	1127125	0,02372
<b>Agosto</b>	41527	11965,47	492095	0,02432
<b>Setembro</b>	92270	25642,37	1093400	0,02345
<b>Outubro</b>	95055	26654,94	1126402	0,02366
<b>Novembro</b>	84219	23793,48	997995,2	0,02384
<b>Dezembro</b>	61086	17893,76	723869,1	0,02472
			<b>Média</b>	0,02634

**Exemplo de cálculo para o mês de Janeiro**

**Conversão de m<sup>3</sup> para kWh:**

$$m^3 \times \text{factor de conversão} = 81238 \times 11,85 = 962670,3 \text{ kWh}$$

**Cálculo do custo do gás:**

$$\text{€/kWh} = 28216,63 / 962670,3 = 0,02931 \text{ €/kWh}$$

Os mesmos cálculos foram realizados para os restantes meses, sendo o posterior cálculo do custo do gás, a média do custo do gás para os meses referentes ao ano de 2009.

### ➤ Custos de pressurização

A determinação dos custos associados à pressurização dizem respeito às áreas da Sala de bombagem e da Central de vácuo.

Nas **Tabelas A.5 e A.6** encontram-se evidenciados os custos operativos de cada uma das áreas, correspondendo o custo total à soma dos custos das duas áreas, de valor igual a 11.252,13€.

**Tabela A.5.** Custo de pressurização na Sala de Bombagem.

Equipamento	P <sub>instalada</sub> (kW)	Tempo de funcionamento (h)	P <sub>anual</sub> consumida (kWh)	Custo anual (€)
Bomba de água	3	24	15840	1.162,79
Bomba de água	3	24	15840	1.162,79
Bomba de lavagem em contra-corrente	1,1	0,67	161,33	11,84
Bomba do Furo	4	12	10560	775,19
Bomba do Furo	4	12	10560	775,19
<b>TOTAL</b>				<b>3.887,80</b>

**Tabela A.6.** Custo de pressurização na Central de Vácuo.

Equipamento	P <sub>instalada</sub> (kW)	Tempo de funcionamento (h)	P <sub>anual</sub> consumida (kWh)	Custo anual (€)
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de água	3	12	7920	581,39
Bomba de água	3	12	7920	581,39
<b>TOTAL</b>				<b>7.364,32</b>

**Exemplo de cálculo do custo anual da bomba de água da Sala de Bombagem**

**Cálculo da  $P_{\text{anual consumida}}$ :**

$$P_{\text{anual consumida}} = P_{\text{instalada}} \times \text{tempo de funcionamento} \times 220 = 3 \times 24 \times 220 = 15840 \text{ kWh}$$

**Cálculo custo anual:**

$$\begin{aligned} \text{Custo anual} &= (P_{\text{anual consumida}} / 2) \times (\text{custo de Inverno} + \text{custo de Verão}) = \\ &= (15840 / 2) \times (0,07225 + 0,07457) = 1.162,79 \text{ €} \end{aligned}$$

**Observações:**

O período laboral anual corresponde a cerca de 220 dias, considerando assim que metade desse período corresponde à estação de Inverno e a outra metade à estação de Verão.

➤ **Custos de arrefecimento**

Os custos de arrefecimento foram determinados tendo por base os dados fornecidos relativamente à Central de água de refrigeração, encontrando-se apresentados esses dados na **Tabela A.7**. Na determinação do custo anual de arrefecimento de água, os cálculos foram efectuados de acordo com o procedimento dos custos de pressurização, visto no arrefecimento da água somente se recorrer à energia eléctrica.

**Tabela A.7.** Custo de arrefecimento na Central de água de refrigeração.

Equipamento	$P_{\text{instalada}}$ (kW)	Tempo de funcionamento (h)	$P_{\text{anual}}$ consumida (kWh)	Custo anual (€)
Torre de arrefecimento	4	24	21120	1.550,38
Torre de arrefecimento	4	24	21120	1.550,38
Bomba de circulação	3	24	15840	1.162,79
Bomba de circulação	3	24	15840	1.162,79
Bomba de água	7	24	36960	1.162,79
Bomba de água	7	12	18480	1.162,79
			<b>TOTAL</b>	<b>6.589,13</b>

➤ **Custos de aquecimento**

Os custos de aquecimento reportam aos custos inerentes da Sala da Caldeira, sendo o amaciador e a caldeira, os equipamentos que possuem um custo associado.

Embora alguns dos equipamentos não tenham uma acção directa sobre o aquecimento da água, tal como o amaciador e bombas auxiliares, estes são necessários para o correcto funcionamento dos equipamentos fundamentais ao aquecimento.

No que respeita ao amaciador, os dados fornecidos pela Petibol constam na **Tabela A.8**, englobando os custos associados à compra de resina catiónica, bem como a compra de regenerante.

**Tabela A.8.** Custos do funcionamento do amaciador.

Descrição	Custo anual (€)
Regenerante	115,28
Resinas sódicas	812,50
<b>TOTAL</b>	<b>927,78</b>

A caldeira recorre à energia eléctrica e ao gás natural para o seu funcionamento, bem como se encontra adicionado aos custos os produtos químicos (Complex S2000 e Complex B106) adicionados para a protecção do equipamento. No que respeita aos custos energéticos, estes encontram-se associados às duas bombas de água e ao queimador, sendo o seu cálculo determinado da mesma forma dos custos de pressurização, exceptuando o cálculo das bombas de água da **Tabela A.9**.

**Tabela A.9.** Custos energéticos inerentes à caldeira.

Equipamento	P instalada (kW)	Período de funcionamento	Tempo de funcionamento (h)	P anual consumida (kWh)	Custo anual (€)
Queimador	8	0,4	24	16896	1.240,31
Bomba de água	5,5	0,4	12	5808	426,36
Bomba de água	5,5	0,4	12	5808	426,36
				<b>TOTAL</b>	<b>2.093,02</b>

---

**Exemplo de cálculo do custo anual da bomba de água**

---

**Cálculo da  $P_{\text{anual consumida}}$ :**

$$P_{\text{anual consumida}} = P_{\text{instalada}} \times \text{tempo de funcionamento} \times \text{período de funcionamento} \times 220 = \\ = 5,5 \times 12 \times \left(\frac{2}{5}\right) \times 220 = 5808 \text{ kWh}$$

**Cálculo custo anual:**

$$\text{Custo anual} = (P_{\text{anual consumida}} / 2) \times (\text{custo de Inverno} + \text{custo de Verão}) = \\ = (5808 / 2) \times (0,07225 + 0,07457) = 426,36 \text{ €}$$

**Observações:**

A potência anual instalada para as bombas de água foi multiplicada por 0,4, visto estas serem do tipo modelante isto é, não trabalham com uma potência linear. Este factor corresponde à divisão do caudal de entrada pelo caudal máximo de produção de vapor pelo caudal, o que equivale à carga que a caldeira trabalhou o ano de 2009.

O período laboral anual corresponde a cerca de 220 dias, considerando assim que metade desse período corresponde à estação de Inverno e a outra metade à estação de Verão.

---

**Custo do consumo de gás natural**

---

**Conversão de  $\text{m}^3$  para kWh:**

$$\text{m}^3 \times \text{factor de conversão} = 961461 \times 11,85 = 11393313 \text{ kWh}$$

**Cálculo custo anual:**

$$\text{Custo anual} = \text{consumo de gás} \times \text{custo do gás} = 11393312 \times 0,02634 = 300.099,86 \text{ €}$$

O consumo anual de gás natural foi de 961461  $\text{m}^3$ , correspondendo à soma dos consumos mensais apresentados na **Tabela A.4**.

---

Para além dos gastos enunciados anteriormente, a caldeira requer manutenção, bem como o queimador. Os gastos globais da caldeira encontram-se explícitos na **Tabela A.10**.

**Tabela A.10.** Custos totais do funcionamento da caldeira.

<b>Descrição</b>	<b>Custo anual (€)</b>
Electricidade	2.093,02
Gás	300.099,86
Manutenção à caldeira	605,00
Trabalho ao queimador	90,00
Complex B106	2.789,79
Complex S2000	6.886,35
<b>TOTAL</b>	312.564,02

Os custos totais do aquecimento da água correspondem à soma dos custos globais do funcionamento do amaciador e da caldeira, encontrando-se mencionados na **Tabela A.11**.

**Tabela A.11.** Custos globais do aquecimento futuro.

<b>Equipamento</b>	<b>Custo anual (€)</b>
Amaciador	927,78
Caldeira	312.564,02
<b>TOTAL</b>	313.491,80



## ANEXO B

---

O presente anexo comporta essencialmente um conjunto de metodologias inerentes à protecção de equipamentos, expostos aos efeitos negativos que a água do circuito acarreta. Neste anexo encontra-se alguns apontamentos complementares de informações referidas no Capítulo 2, tal como os diferentes tipos de processos corrosivos.

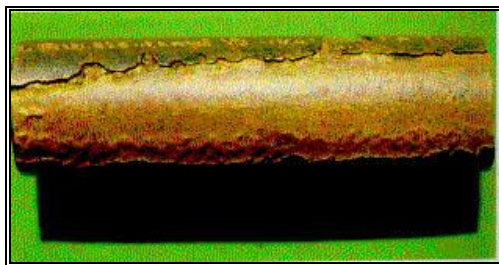
---



## Anexo B.1. Tipos de corrosão

- Corrosão uniforme

A corrosão uniforme caracteriza-se por um desgaste mais ou menos uniforme do material, tal como se encontra visível na **Figura B.1**. Este tipo de corrosão não é considerado um sério caso de corrosão, desde que seja controlado <sup>[31], [32]</sup>.



**Figura B.1.** Corrosão uniforme na área de contacto entre tubo de latão e metal não metálico <sup>[30]</sup>.

- Corrosão galvânica

A corrosão galvânica advém do contacto entre dois metais não semelhantes num electrólito. Esse contacto deve ser suficiente para que se verifique a existência de condutividade eléctrica, e ambos os metais devem estar expostos ao electrólito. A corrosão galvânica é despoletada pela diferença de potencial estabelecido entre os dois metais, constatando-se que quanto maior for a diferença de potencial, maior é a força que provoca a corrosão. A diferença de potencial é tanto maior, quanto maior for a área catódica em comparação com a área anódica <sup>[14], [30]</sup>.

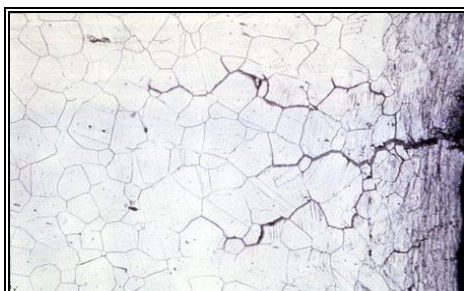
Na **Figura B.2** é apresentado um caso típico de corrosão no interior de um anel de um sistema de arrefecimento.



**Figura B.2.** Secção do interior do anel de um sistema de arrefecimento <sup>[45]</sup>.

- **Corrosão intergranular**

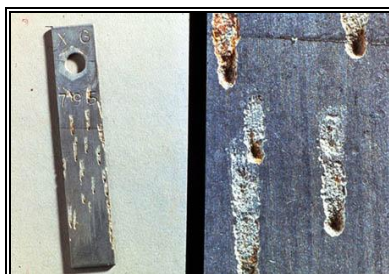
A corrosão intergranular corresponde a um ataque localizado do material, especificamente nos limites de grão (cristal), como se encontra representada na **Figura B.3**. Embora esta corrosão provoque perdas diminutas no material, pode dar origem a consequências nefastas nos equipamentos, visto que só é notada esta corrosão quando o material se danifica por completo.



**Figura B.3.** Foto ilustrativa de corrosão intergranular <sup>[14]</sup>.

- **Corrosão por picadura (“Pitting”)**

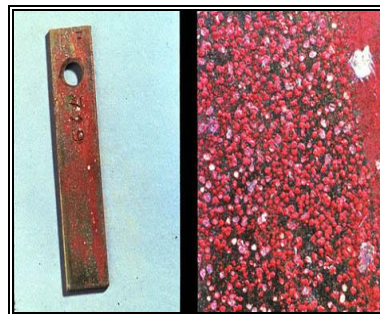
Esta forma de corrosão distingue-se por ser uma das mais destrutivas formas de corrosão, tal como se pode verificar pela **Figura B.4**, bem como a de maior dificuldade de previsão laboratorial. A corrosão por picadura manifesta-se pela existência de velocidades de corrosão superiores há existente em outras áreas e pela presença de iões cloreto. Estas cavidades surgem tanto em metais passivos como em metais não passivos, porém verifica-se uma maior incidência nos metais não passivos. No entanto, em metais passivos estas cavidades encontram-se em menor número mas com uma superior profundidade <sup>[14], [31]</sup>.



**Figura B.4.** Exemplo de um metal afectado por picadura <sup>[14]</sup>.

- **Corrosão selectiva**

A corrosão selectiva corresponde à corrosão de um elemento preferencial de uma liga. A deszincificação de latões, compostos por ligas de cobre e zinco, é um exemplo de corrosão selectiva, promovendo-se a gradual dissolução do zinco, devido a este corresponder ao metal menos nobre. Esta corrosão origina a formação de uma material residual poroso, como é observável na **Figura B.5** <sup>[31]</sup>.



**Figura B.5.** Ilustração de deszincificação de um latão <sup>[14]</sup>.

- **Corrosão sob tensão (“Stress Corrosion”)**

A corrosão sob tensão é promovida pela fragilidade do material em esforços de tracção, existindo simultaneamente uma disposição preferencial em trajectórias mais ou menos contínuas, tal como se pode verificar na avaliação da **Figura B.6**. No caso dos aços inoxidáveis, o aumento da temperatura impulsiona a que haja uma maior probabilidade de corrosão <sup>[14], [31]</sup>.



**Figura B.6.** Exemplo de falhas provocadas pela corrosão sob tensão <sup>[14]</sup>.

- **Corrosão-Erosão**

A corrosão – erosão equivale a um aumento da taxa de danos no metal por efeito de abrasões, aparecendo em condições de turbulência, de altas velocidades da água, de existência de sólidos em suspensão, entre outras. A corrosão manifesta-se pelo surgimento de sulcos e furos de geometria circular, apresentando um padrão direccional, e vulgarmente localizados em zonas de mudança de direcção da água, como se encontra visível na **Figura B.7**. Este típico caso de corrosão é denominado de corrosão – cavitação, devendo-se à formação e arrebatamento de bolhas de vapor no metal <sup>[14], [31]</sup>.

O desenvolvimento da corrosão – erosão segue uma série de etapas, sendo elas <sup>[45]</sup>:

- formação de uma película protectora sobre a superfície do metal;
- remoção mecânica da película, a partir da erosão causada pelo fluido a alta velocidade;
- formação de uma nova película protectora, resultante do processo de corrosão.

Há a salientar o facto das duas últimas etapas poderem ocorrer de forma quase coincidente.



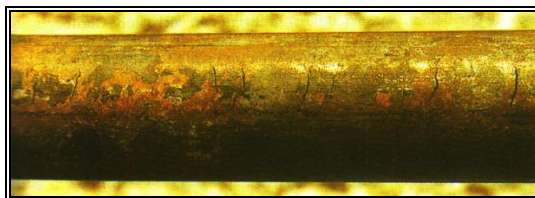
**Figura B.7.** Depressões, em forma de ferradura, na superfície interna de um tubo de permutador de calor <sup>[32]</sup>.

- **Corrosão sob fadiga**

A corrosão sob fadiga foi mencionada em 1917, como sendo a formação de fissuras, resultado da aplicação de esforços cíclicos e de inserção num meio corrosivo. Os danos produzidos pela acção conjunta destes dois factores são significativamente superiores aos danos resultantes dos factores aplicados em separado <sup>[31], [45]</sup>.

A corrosão sob fadiga origina o aparecimento de fissuras finas e compridas, podendo ter pouca ou nenhuma ramificação. Estas fissuras podem ser encontradas individualmente

num metal, embora seja mais frequente encontrar-se fissuras dispostas paralelamente, tal como é observável pela **Figura B.8** <sup>[45]</sup>.



**Figura B.8.** Representação de uma família de fissuras na superfície externa <sup>[45]</sup>.

- **Corrosão sob depósito**

A corrosão sob depósito acontece em zonas cobertas, sendo que os depósitos possibilitam a evolução de fenómenos corrosivos. Estes processos podem ser promovidos pela <sup>[31]</sup>:

- natureza dos depósitos;
- formação de pilhas de arejamento diferencial;
- desenvolvimento de condições anaeróbias, promovendo o aparecimento de microrganismos anaeróbios produtores de subprodutos agressivos.

- **Corrosão sob juntas e fendas (“Crevice Corrosion”)**

A corrosão sob juntas e/ou fendas resulta da intensa corrosão nessa área específica, estando estas mergulhadas numa solução, como exemplificado na **Figura B.9**. Os materiais que possuam camadas de óxidos de protecção, como por exemplo aço inoxidável e alumínio, caracterizam-se por apresentarem uma maior predisposição para serem atacados pela corrosão, devido a altas concentrações de iões cloreto e de um ambiente com pH ácido <sup>[14], [31]</sup>.

Com o passar do tempo, a taxa de oxigénio dentro de uma fenda vai diminuindo, criando uma zona com carência de oxigénio. Esta zona, sendo activa e com menor nobreza comparativamente à zona passiva, origina o processo corrosivo <sup>[31]</sup>.



**Figura B.9.** Fenda corroída entre um tubo laminado de um permutador de calor e uma placa de aço <sup>[45]</sup>.

- **Corrosão microbiológica (“Microbiologically Influenced Corrosion” – MIC)**

A corrosão microbiológica é dividida em corrosão biológica activa e corrosão biológica passiva.

A corrosão biológica activa, conhecida também como corrosão por influência biológica (CIB), define-se como a interacção química, de forma directa, dos microrganismos em relação aos materiais, promovendo à realização de novas reacções químicas de teor corrosivo e/ou à aceleração de processos corrosivos já existentes. Na **Figura B.10** é apresentado um caso clássico de corrosão induzida por microrganismos. Alguns dos factores que influenciam a actividade microbiana neste tipo de corrosão são <sup>[14], [45]</sup>:

- temperatura;
- concentração de carbono orgânico total;
- concentração de azoto;
- fluxo da corrente;
- concentração de oxigénio ou amoníaco;
- tratamento químico;
- pH.

Existem quatro tipos de classes de bactérias conhecidas pelo seu carácter corrosivo, sendo elas <sup>[45]</sup>:

- sulfatorredutoras (SRB);
- produtoras de ácidos;
- depositadoras de metais;
- formadoras de limo.

Na corrosão biológica passiva, o material biológico comporta-se como uma substância quimicamente inerte, também sendo considerada como um depósito. A substância proporciona obstruções, alterações na condução do calor e interfere no fluxo circulante <sup>[45]</sup>.



**Figura B.10.** Exemplo de uma corrosão biológica activa <sup>[14]</sup>.

## **Anexo B.2. Limpeza química da caldeira**

A limpeza da caldeira é uma forma de remoção de depósitos e incrustações, permitindo a melhoria na transferência de calor. A limpeza aplicada à caldeira pode ser efectuada a todos os equipamentos associados a esta, tal como o economizador, circuito de água de alimentação, desgaseificador, entre outros.

No decorrer do processo de limpeza deve-se controlar o teor de reagentes, o teor de ferro e cobre em solução, a temperatura e a velocidade das soluções na circulação no processo.

A limpeza química da caldeira em operação é composta por quatro fases <sup>[17]</sup>:

### **1. remoção de cobre**

Inicialmente, deixa-se circular, durante um período de meia hora, uma solução de amónia, com pH compreendido entre 3,5 e 4. Posteriormente, adiciona-se de forma parcelar a solução de amoníaco e persulfato de amónio, de forma a estabilizar o pH entre 9,2 e 9,6. A quantidade a adicionar deve ser duas vezes superior à quantidade necessária para a oxidação do cobre. Após a solução de lavagem permitir uma concentração de cobre constante, procede-se ao esvaziamento do conteúdo da caldeira, lavando-a com água desmineralizada a 50 °C, repetindo este procedimento por duas vezes.

### **2. lavagem ácida e enxaguamento**

Nesta etapa há que ter em conta o tipo de depósitos aquando da escolha do ácido a utilizar. Uma possível solução que permite a lavagem da caldeira corresponde a ácido clorídrico de  $5 \pm 0,5\%$ , inibidor (piridina) de 0,2% e bifluoreto de amónio com 0,25%. No caso de utilização de ácido fluorídrico, este deve possuir uma concentração de 1%, enquanto que a concentração do inibidor deverá rondar entre 0,1 e 0,2%.

No início, coloca-se água quente no interior da caldeira, com uma temperatura de cerca de 50 °C, seguindo-se o doseamento de uma porção de ácido clorídrico, de forma a diminuir o valor de pH, bem como a evitar que ocorra a precipitação por parte do inibidor de corrosão, doseando-se cerca de metade da quantidade desse mesmo inibidor. Posteriormente, completa-se com bifluoreto de amónio, deixando no local durante uma hora. De seguida, faz-se recircular a solução por um período de uma hora, no fim do qual, parte da solução contida na caldeira é retirada, sendo adicionado o restante ácido clorídrico e o inibidor.

Um dos aspectos a ter em conta durante o processo de recirculação da solução, corresponde à eventual ocorrência de precipitação do inibidor de corrosão. Este processo é interrompido aquando da estabilização da concentração de ferro na solução.

Uma forma de melhorar a eliminação de depósitos corresponde à injeção de azoto de forma controlada, permitindo uma melhor recirculação da solução de lavagem.

Finalizada a etapa de lavagem ácida, há que esvaziar o conteúdo da caldeira e enxaguar, por diversas vezes, com água desmineralizada, até à obtenção de um pH não superior a 5 e uma condutividade com valor inferior a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De forma a prevenir a entrada de ar para o interior da caldeira, deve-se injectar azoto no decorrer do processo de enxaguamento.

### **3. complexação, descuprificação final e neutralização**

Nesta etapa é introduzida na caldeira água desmineralizada aquecida a uma temperatura de 60 °C por via do vapor. Posteriormente, é colocado o ácido cítrico, até alcançar 0,1%, o inibidor de corrosão e imediatamente após injecta-se amoníaco, de forma a aumentar o pH para valores de cerca de 3,5 e 4. Em seguida, durante um período de trinta minutos, promove-se a circulação da solução no interior da caldeira. Terminado esse intervalo de tempo, acrescenta-se novamente amoníaco até à obtenção de um pH de 7,5, fazendo-se recircular a solução por um período de duas horas, proporcionando a passivação das superfícies da caldeira. Após esse período, é adicionado amoníaco até valores de pH entre 9,4 e 9,6, tendo em vista a oxidação e complexação do metal cobre; bem como é adicionado bromato, em pequenas porções, para que se estabeleça a relação bromato/cobre um pouco superior à estequiométrica. A recirculação é dada por terminada quando se verificar a obtenção de valores constantes de concentração de cobre em solução.

Por fim, é retirado todo o conteúdo da caldeira, sendo de seguida enxaguada até se obter uma condutividade inferior a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nesta etapa, tal como na anterior, há que ter em atenção no impedimento de entrada de ar na caldeira.

### **4. passivação final**

Na etapa final, é adicionada à caldeira água e hidrazina com uma quantidade de cerca de 100 a 150 ppm. O processo de passivação segue três passos:

- ligação da caldeira, subindo a pressão paulatinamente, durante cerca de quatro horas, até à pressão de 5 bar. A estabilização desta condição deve manter-se durante uma hora, em que de seguida são realizadas purgas de fundo, com intervalos de trinta em trinta minutos, por um período de 30 segundos. Caso se esteja numa situação de possibilidade de um contínuo fornecimento de água de compensação, poderá ser efectuada uma purga contínua;
- aumentar a pressão até 10 bar de forma gradual, deixando nessa condição durante uma hora. Proceder à realização de purgas, tal como no ponto anterior, adicionando-se hidrazina, com o intuito de garantir que as concentração esteja contida no intervalo de 70 a 90 ppm;
- realizar as operações descritas anteriormente, aumentando o valor da pressão de 5 em 5 bar até a pressão de operação ser atingida. No caso da caldeira da Petibol, esta etapa não será realizada, visto a pressão de operação se situar entre 6,5 e 7,2.

### **Anexo B.3. Aplicação de biocidas oxidantes e microbicidas**

De forma a controlar a população microbiana, é aconselhável a adição de biocidas oxidante e microbicidas, tal como foi alertado anteriormente. Um dos procedimentos de biocidas oxidantes corresponde à adição de cloro ou hipoclorito na água, em choques, por um período de 20 a 40 minutos, tendo em atenção a quantidade a adicionar, visto se pretender uma quantidade residual de 1 a 2 mg/L de cloro. Uma outra forma de aplicação de biocida corresponde à aplicação de ozono, com uma quantidade que permita um residual de 0,4 a 0,6 mg/L de ozono na água de alimentação à torre, ou ainda a adição de bromo com uma quantidade residual de 2 a 3 mg/L. No caso da aplicação de ozono, há que ter em conta a instalação de um equipamento que permita a produção no local do ozono, visto este não permitir que seja armazenado devido à sua instabilidade. Em relação ao bromo, este deverá ser produzido no local, a partir da junção de brometo de potássio, ou de sódio, com cloro ou um dos seus derivados <sup>[31]</sup>.

No que respeita à aplicação de microbicida, existe no mercado diversos tipos de produtos, entre eles <sup>[31]</sup>:

- metilenobistiocianato (MBT);
- sais de amónio quaternário;
- isotiazolonas;
- carbamatos;
- compostos organo-dibromados;
- metais pesados.

## Anexo B.4. Manutenção e medidas de segurança em torres de arrefecimento

No que diz respeito à manutenção das torres de arrefecimento, deve-se ter em mente as seguintes práticas <sup>[52]</sup>:

- manter as torres de arrefecimento limpas e livres de danos físicos, tais como canos enferrujados;
- adopção de um manual de manutenção, tendo em conta os seguintes pontos:
  - procedimentos de limpeza, descontaminação e de desmantelamento;
  - manual de tratamento de água, bem como passos a adoptar durante a fase de arranque e encerramento do funcionamento do sistema;
  - plantas dos sistemas de arrefecimento e ventilação.
- a manutenção de sistema de arrefecimento deve ser efectuada por parte de pessoal com noção de prevenção dos riscos inerentes ao funcionamento do sistema de arrefecimento;
- a inspecção deve ser realizada cerca de uma vez por semana, procedendo a uma limpeza geral, e fazendo uma vistoria à presença de falhas, sujamento, entre outros;
- existência de um plano de limpeza, desinfecção e tratamento da água, de forma a inviabilizar a proliferação da bactéria *Legionella*.

Uma das formas de tratamento da água corresponde à adição de biocidas, estando o procedimento da sua aplicação mencionado no **Anexo B.3**.

O pessoal responsável pelo sistema de arrefecimento, deve ter conhecimentos de manutenção desse sistema, tal como referido anteriormente, sendo recomendável ter formações a nível de funcionamento de sistemas de arrefecimento, medidas preventivas, legislação vigente, procedimentos de tratamento de água, entre outros <sup>[52]</sup>.

De forma a garantir a sua segurança, o pessoal deve estar alertado para os riscos inerentes ao contacto com a *Legionella*, bem como deve estar equipado com protecção. Na **Tabela B.1** encontram-se mencionados os tipos de equipamentos de protecção mínimos a adoptar contra possíveis riscos associados ao manuseamento em sistemas de arrefecimento, de acordo com o “Código de práticas para o controlo da bactéria *Legionella* em torres de arrefecimento” <sup>[52]</sup>.

**Tabela B.1.** Equipamentos de protecção na manutenção de torres de arrefecimento <sup>[52]</sup>.

<b>Função</b>	<b>Perigo associado</b>	<b>Protecção</b>
<b><i>Inspecção</i></b>	Aerossol	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ máscara de protecção com filtração de partículas até 5 µm;</li> <li>✓ roupa de trabalho.</li> </ul>
<b><i>Tratamento da água</i></b>	Aerossol Nuvem química	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ luvas de vinil ou borracha;</li> <li>✓ óculos de protecção;</li> <li>✓ botas;</li> <li>✓ respiradores de meia-máscara.</li> </ul>
<b><i>Pulverização de alta pressão</i></b>	Aerossol	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ máscaras de meia-face;</li> <li>✓ impermeável;</li> <li>✓ botas;</li> <li>✓ luvas de vinil ou borracha;</li> <li>✓ óculos de protecção.</li> </ul>
<b><i>Limpeza e tratamento químico por via do hipoclorito</i></b>	Nuvem química	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ respirador com cobertura total da face;</li> <li>✓ impermeável;</li> <li>✓ botas;</li> <li>✓ luvas de vinil ou borracha.</li> </ul>

Para além dos equipamentos de protecção, mencionados na tabela anterior, existem um conjunto de boas práticas a aplicar, sendo elas <sup>[52]</sup>:

- ✓ lavagem imediata com água corrente quando em contacto accidental com um produto químico;
- ✓ proibição de fumar, beber e/ou comer durante o procedimento de manutenção do sistema de arrefecimento;
- ✓ lavagem das mãos após manutenção;
- ✓ fácil acesso aos W.C.;
- ✓ os trabalhadores em contacto com substâncias perigosas e com funções de desinfecção e tratamento de água, devem ser vigiados periodicamente por um médico;
- ✓ consultar imediatamente ajuda médica caso se verifiquem sintomas respiratórios, cutâneos e outros sintomas, após contacto com substâncias perigosas.

## Anexo B.5. Protecção do circuito de arrefecimento de água

Um tratamento de protecção do sistema de arrefecimento deve ser desenvolvido o mais rápido possível, de forma a possibilitar a formação de uma barreira protectora. Para tal, há que aplicar inicialmente uma limpeza e passivação das superfícies, bem como a adição de inibidores de corrosão. Conhecem-se vários tipos de limpeza a sistemas de arrefecimento, entre elas a hidrodecapagem, introdução de surfactantes especiais durante a etapa de limpeza, e ainda a adição de uma pequena porção de ácido e/ou solução alcalina de limpeza <sup>[26]</sup>.

A limpeza e passivação das superfícies podem ocorrer em simultâneo ou como duas etapas singulares, sendo que neste último caso, a passivação deve ocorrer logo após a limpeza. Como referido no **Capítulo 2**, existem dois tipos de passivação, encontrando-se referenciado na **Tabela B.2** o procedimento a aplicar para cada tipo de passivação.

**Tabela B.2.** Protocolo de aplicação de passivação <sup>[26], [31]</sup>.

Passivação “on – line”	Passivação “off – line”
<ul style="list-style-type: none"> <li>• adicionar uma concentração de inibidor para cerca de duas a três vezes superior ao normal, deixando circular por um período de quatro a doze horas;</li> <li>• estabilizar o pH para valores de 6 a 7 e uma temperatura entre 49 a 60 °C;</li> <li>• após o período estipulado, reduzir a concentração do inibidor para um valor de concentração normal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• após a limpeza do sistema, deixar circular água limpa no sistema;</li> <li>• circular a solução de passivação, como por exemplo polifosfato com concentração de 200 mg/L PO<sub>4</sub>, por um período de duas a doze horas, com temperaturas na ordem dos 49 a 60 °C;</li> <li>• estabilizar, durante a circulação da solução, para valores de pH entre 6 e 7;</li> <li>• após o processo de passivação, circular a água de arrefecimento e operar de forma normal.</li> </ul>

## Anexo B.6. Avaliação da água da caldeira e água de arrefecimento

A água da caldeira, juntamente com a água de arrefecimento, necessita de um maior controlo da sua qualidade, devido às consequências adversas inerentes à má qualidade da água. Na **Tabela B.3** encontram-se os parâmetros que necessitam de uma maior atenção, no que respeita à água da caldeira, enquanto na **Tabela B.4** encontram-se referidos os parâmetros a avaliar na água de arrefecimento, bem como possíveis metodologias para a determinação dos mesmos. De referir que as tabelas apresentadas foram adaptadas dos livros “*Tratamento de água de caldeiras*” e “*Tratamento de águas de arrefecimento*”<sup>[17], [31]</sup>.

**Tabela B.3.** Indicadores recomendados para avaliar na caldeira<sup>[17]</sup>.

Indicador	Método analítico	Limite de detecção
pH	Electrométrico	-
	Colorimétrico	-
Condutividade	Electrométrico	0,05 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$
Alcalinidade M e Alcalinidade P	Volumetria	2,0 mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$
Dureza	Volumetria	1,0 mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$
	Colorimétrico	0,1 mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$
Sílica	Colorimétrico (azul de molibdénio – redução com $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )	1,0 mg $\text{SiO}_2/\text{L}$
	Colorimétrico (azul de molibdénio – redução com amina)	0,02 mg $\text{SiO}_2/\text{L}$
Sódio	Electrométrico	0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$ <sup>3</sup>
Cloreto	Volumetria	1,0 mg $\text{Cl}/\text{L}$
	Colorimétrico com tiocianato férrico	0,05 mg $\text{Cl}/\text{L}$

<sup>3</sup> Valor limite quando a avaliação é realizada em linha

**Tabela B.3.** Indicadores recomendados para avaliar na caldeira (cont.) <sup>[17]</sup>.

Indicador	Método analítico	Limite de detecção
Oxigénio dissolvido	Volumetria amperométrica (método de Winkler modificado)	0,005 mg O <sub>2</sub> /L
	Colorimétrico (índigo carmim)	0,002 mg O <sub>2</sub> /L
	Electrométrico	0,002 mg O <sub>2</sub> /L <sup>3</sup>
Cobre	Colorimétrico com dietilditiocarbamato	0,01 mg Cu/L
	Espectrofotometria de absorção atómica com câmara de grafite (EAA)	0,001 mg Cu/L
	Colorimétrico com tiocianato	0,1 mg Fe/L
Ferro	Colorimétrico com 2,4,6 – tripiridil – 5 – triazine	0,01 mg Fe/L
	Colorimétrico com 1,10 – fenantrolina	0,01 mg Fe/L
	EAA	0,002 mg Fe/L
Sulfito	Iodométrico	1,0 mg SO <sub>3</sub> /L
Fosfato	Colorimétrico com vanadomolibdato de amónio	1 mg PO <sub>4</sub> /L
Hidrazina	Colorimetria com p – dimetilamino - benzaldeído	0,01 mg N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /L
Sulfato	Turbidimétrico	2 mg SO <sub>4</sub> /L

**Tabela B.4.** Indicadores de controlo na água de arrefecimento <sup>[31]</sup>.

<b>Indicador</b>	<b>Método analítico</b>
pH	Electrométrico
	Colorimétrico
Condutividade	Electrométrico
Turvação	Nefelométrico
	Turbidimetria
Alcalinidade M e Alcalinidade P	Titulação com um ácido forte
Dureza	Titulação com EDTA
Cloreto	Titulação com nitrato de prata
Sulfato	Espectrofotometria de absorção molecular
	Turbidimetria
Azoto amoniacal	Espectrofotometria de absorção molecular
Nitratos	Espectrofotometria de absorção molecular
Nitritos	Espectrofotometria de absorção molecular
Sílica	Espectrofotometria de absorção molecular
Fósforo	Espectrofotometria de absorção molecular
Ferro	Espectrofotometria de absorção molecular
CQO	Oxidação em meio ácido, a quente e durante duas horas, com dicromato
Quantidade residual de desinfectantes, inibidores de corrosão, entre outros	-



## ANEXO C

---

---

O anexo comporta todos os dados referentes à avaliação da água do circuito industrial, bem como exemplos de cálculo que possibilitaram a posterior obtenção dos valores finais para os parâmetros quantificados.

---



## Anexo C.1. Registo dos valores industriais

No decorrer do estágio foram quantificados os valores de caudal, pressão e temperatura, em diferentes pontos da unidade industrial. A temperatura foi o parâmetro avaliado mensalmente, devido aos tanques de água do circuito de arrefecimento estarem sujeitos às variações meteorológicas, encontrando-se esses valores na **Tabela C.1**.

**Tabela C.1.** Registo dos valores referentes à temperatura nos diferentes tanques de água.

	<i>Mês</i>				
	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>	<i>Abril</i>	<i>Mai</i>	<i>Junho</i>
<i>Tanque Quente</i>	55,8	48,2	50,2	51,1	49,0
<i>Tanque Frio</i>	36,1	29,5	31,1	31,0	32,1

## Anexo C.2. Caracterização da água dos circuitos do processo

Na **Tabela C.2** encontram-se os indicadores contemplados na caracterização da água, bem como as metodologias adoptadas nessa avaliação. De forma a proceder a essa mesma avaliação, foram utilizados diferentes equipamentos existentes no Laboratório de Tecnologias Doutora Lídia Vasconcelos do ISEP, encontrando-se mencionados na **Tabela C.3**, bem como o termómetro de avaliação da temperatura na unidade industrial. As amostras foram armazenadas em frascos de plástico, por um período máximo de cerca de 28 dias, a uma temperatura de conservação a rondar os 4 °C, sendo estas amostras recolhidas ao longo do estágio.

**Tabela C.2.** Parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de água.

<b>Indicadores</b>	<b>Método analítico</b>	<b>Norma</b>
Alcalinidade	Titulação Volumétrica	SMEWW 2320 B <sup>4</sup>
CQO	Método do Refluxo Fechado – Método Colorimétrico	SMEWW 5220 D
Cloretos	Titulação Volumétrica por Argentometria	SMEWW 4500 Cl <sup>-</sup> B
Cobre	Espectrometria de Absorção Atómica	SMEWW 3113 B
Dureza	Titulação Titrimétrica com EDTA	SMEWW 2340 C
Ferro	Espectrofotometria de Absorção Atómica	SMEWW 3500-Fe B
Oxidabilidade	Titulação Volumétrica por Permanganatometria	NP 731:1969
Nitratos	Espectrofotometria de UV	SMEWW 4500 B
Sódio	Fotometria de chama	SMEWW 3500-Na B
Potássio	Fotometria de chama	SMEWW 3500-K B
Cálcio	Espectrofotometria de Absorção Atómica	SMEWW 3111 D
Magnésio	Espectrofotometria de Absorção Atómica	SMEWW 3111 D
Fosfatos	Espectrofotometria de UV	Método 8178 HACH
pH	Potenciometria	SMEWW 4500 H <sup>+</sup> B
Sulfatos	Gravimetria	SMEWW 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> C

<sup>4</sup> SMEWW – ensaios conduzidos segundo os protocolos apresentados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater<sup>[55]</sup>.

**Tabela C.2.** Parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de água (cont.).

Indicadores	Método analítico	Norma
Condutividade	Electrometria	SMEWW 2510 B
Cor	Fotometria com padrões de escala Pt-Co	SMEWW 2510 B
Turvação	Fotometria com padrões de escala Pt-Co	SMEWW 2130 B
SDT	Gravimetria	SMEWW 2540 C
SST	Gravimetria	SMEWW 2540 D

**Tabela C.3.** Equipamentos utilizados na avaliação da água do circuito.

Equipamento	Marca/Modelo
<b>Filtros de fibra de vidro</b>	Sterlitech Corporation
<b>Muflas</b>	Vulcan 3 – 550 Ney Carbolite Furnace CSF 1100 Nabertherm
<b>Estufa</b>	WTB Binder
<b>Condutivímetro</b>	Consort - C 862
<b>Espectrofotómetro de absorção atómica</b>	Spectra AA300
<b>Termómetro por infra-vermelhos</b>	Fluke 62 Mini
<b>Espectrofotómetro de UV- Vis.</b>	SHIMADZU UV – 160 A
<b>Balança analítica</b>	KERN ALJ 220 – 4
<b>Fotómetro de chama</b>	CORNING Flame Photometer 410
<b>Colorímetro</b>	HACH DR/2000 HACH DR/3000
<b>Digestor de CQO</b>	HACH COD reactor
<b>Medidor de pH</b>	Methrohm 632 pH – meter
<b>Jar-Test</b>	ISCO

Na **Tabela C.4** encontram-se os valores obtidos para os parâmetros quantificados, de acordo com a solicitação efectuada pela empresa.

**Tabela C.4.** Registo de parâmetros avaliados no tanque de bombagem.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido
Cobre	mg/L	Quantidades vestigiais
Sódio	mg/L	26
Potássio	mg/L	1
Fosfatos	mg /L PO <sub>4</sub>	2,54
Nitratos	mg/L	6,93
Cálcio	mg/L	1,27
Magnésio	mg/L	8,71
Oxidabilidade	mg/L O <sub>2</sub>	3,65

### i. pH

A designação de pH caracteriza a concentração de iões de hidrogénio existente numa solução. Soren Sorensen <sup>5</sup>, em 1909, apontou uma forma de especificar o pH, definindo como o logaritmo da concentração de ião hidrogénio, de sinal negativo <sup>[28]</sup>.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \quad \text{ou} \quad \text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (\text{C.1})$$

O pH é um factor de extrema importância na análise, tanto de uma água natural, como de um efluente, pois este parâmetro interfere nos processos de tratamento, tal como a cloragem e o processo de coagulação/floculação <sup>[54], [55]</sup>.

As soluções, à temperatura de 25 °C, podem ser subdivididas em 3 categorias:

Soluções ácidas:  $[\text{H}^+] > 1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$ ,  $\text{pH} < 7,00$

Soluções básicas:  $[\text{H}^+] < 1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$ ,  $\text{pH} > 7,00$

Soluções neutras:  $[\text{H}^+] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$ ,  $\text{pH} = 7,00$

Na **Tabela C.5** encontram-se mencionados os valores de pH obtidos na análise efectuada em diferentes pontos do circuito da água.

<sup>5</sup> Soren Peer Lauritz Sorensen (1868 – 1939), químico dinamarquês, propôs a designação pH, bem como desenvolveu as soluções tampão, tendo como fim o de manter constante o pH <sup>[56]</sup>.

**Tabela C.5.** Registo dos valores referentes ao pH nos diferentes locais de amostragem.

Amostra	pH (T ≈ 20 °C)
Tanque de Bombagem	6,71
Filtro de areia	6,31
Água de compensação	6,67
Alimentação à caldeira	10,14
Purga	12,22
Água de recirculação	7,68

## ii. Alcalinidade

A alcalinidade é subdividida em alcalinidade P (alcalinidade à fenolftaleína) e em alcalinidade M (alcalinidade total). A alcalinidade P engloba soluções que consomem ácido até ao pH mínimo de 8,3, correspondendo à neutralização de todos os iões hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) e carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), originando bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). No que concerne à alcalinidade M, esta alcalinidade corresponde à soma de todas as bases tituláveis, verificando-se a mudança de todos os bicarbonatos em ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) até ao ponto de viragem, sendo este a um pH à volta de 4,5 <sup>[55], [57]</sup>.

A alcalinidade avaliada nas amostras recolhidas no tanque de bombagem, filtro de areia e água de compensação da caldeira corresponde à alcalinidade M, visto o pH obtido nessa amostra ser inferior ao valor mínimo exigido na alcalinidade P, concluindo assim a nulidade da alcalinidade P. Em relação aos valores de alcalinidade para a água de alimentação à caldeira, visto possuir valor de pH superior a 8,3, foi necessária avaliação aos dois tipos de alcalinidade. A **Tabela C.6** refere-se às análises realizadas para a aferição da alcalinidade M, enquanto a **Tabela C.7** diz respeito à análise da alcalinidade P da água de alimentação à caldeira.

De forma a obter resultados coerentes isto é, a variação de volumes de titulante gasto não ser superior a 0,10 mL, foi por vezes necessário a exclusão de ensaios. Em relação ao número de ensaios rejeitados, para a quantificação da alcalinidade M, corresponderam a dois ensaios no caso da água do tanque de bombagem e na água de recirculação, e a quatro ensaios excluídos para a avaliação da água de compensação. No que diz respeito à determinação da alcalinidade P, foram rejeitados dois ensaios.

Tabela C.6. Registo dos valores referentes à alcalinidade M.

Amostra	V <sub>i</sub> (mL)	V <sub>f</sub> (mL)	V <sub>titulante</sub> (mL)	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alcalinidade média (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
Tanque de Bombagem	18,79	19,12	0,33	66	69,3
	19,58	19,99	0,41	82	
	18,5	18,8	0,3	60	
Filtro de areia	19,99	20,25	0,26	52	53
	20,25	20,52	0,27	54	
	20,68	20,95	0,27	54	
Água de compensação	20,95	21,36	0,41	82	70,7
	21,36	21,68	0,32	64	
	17,60	17,93	0,33	66	
Alimentação à caldeira	9,65	10,88	1,23	246	242
	10,88	12,13	1,25	250	
	12,35	13,5	1,15	230	
Água de recirculação	15,49	16,18	0,69	138	147
	17,44	18,23	0,79	158	
	19,00	19,73	0,73	146	

Tabela C.7. Registo dos valores referentes à alcalinidade P.

Amostra	V <sub>i</sub> (mL)	V <sub>f</sub> (mL)	V <sub>titulante</sub> (mL)	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alcalinidade média (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
Alimentação à caldeira	9,22	9,65	0,43	86	87,3
	13,00	13,45	0,45	90	
	13,48	13,91	0,43	86	

**Exemplo de cálculo para a água colhida do tanque de bombagem (1º ensaio)****Titulação com ácido sulfúrico:**

$$V_{\text{titulante}} = V_f - V_i = 19,12 - 18,79 = 0,33 \text{ mL}$$

$$\text{Alcalinidade} = \frac{N_{\text{titulante}} \times V_{\text{titulante}} \times 50000}{V_{\text{toma}}} = \frac{0,1 \times 0,33 \times 50000}{25} = 66 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$$

O mesmo procedimento foi realizado nos dois subsequentes ensaios, sendo a alcalinidade final a média da alcalinidade dos três ensaios.

**Observações:**

$$V_{\text{toma}} = 25 \text{ mL}$$

$$N_{\text{titulante}} = 0,1 \text{ N}$$

A titulação foi realizada até à obtenção de três valores concordantes de volume de ácido gasto ( $\Delta V < 0,10 \text{ mL}$ ).

### iii. Carência Química de Oxigénio

A Carência Química de Oxigénio é definida como a quantidade de oxigénio que é necessária para que ocorra a oxidação da matéria orgânica e inorgânica. A avaliação deste parâmetro foi efectuada a partir da leitura directa no fotómetro, realizando três leituras para cada uma das amostras analisadas, executando-se assim a média das três leituras para a obtenção do valor de CQO das amostras. De modo a obter uma maior segurança dos resultados, procedeu-se à realização de duas amostras, sendo que o valor final de CQO corresponde à média do valor de CQO das duas amostras. Os valores obtidos encontram-se apresentados na **Tabela C.8**.

**Tabela C.8.** Registo dos valores referentes ao CQO na água do tanque de bombagem.

Amostra	Diluição	Leitura (mg O <sub>2</sub> /L)			Leitura média (mg O <sub>2</sub> /L)	CQO (mg O <sub>2</sub> /L)
Tanque de Bombagem	-	17	11	19	15,7	16,5
	-	15	19	18	17,3	
Filtro de Areia	-	13	19	13	15	11,7
	-	12	8	5	8,33	
Água de recirculação	-	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0

### iv. Cloretos

O ião cloreto (Cl<sup>-</sup>) é um componente muito presente nas águas subterrâneas, proveniente da percolação da água pelas rochas e solos. O seu elevado teor em águas industriais implica efeitos adversos nos equipamentos, provocando corrosão nos sistemas em contacto com água. Um outro efeito adverso dá-se a nível dos ecossistemas aquáticos naturais, verificando-se alterações na pressão osmótica das células dos microrganismos <sup>[58]</sup>.

Na **Tabela C.9** encontram-se os valores obtidos na determinação dos cloretos para as diferentes amostras de água de processo.

**Tabela C.9.** Registo dos valores referentes ao teor de cloretos no tanque de bombagem.

Amostra	V <sub>i</sub> (mL)	V <sub>f</sub> (mL)	V <sub>titulante</sub> (mL)	Cloretos (mg Cl/L)	Cloretos média (mg Cl/L)
Tanque de Bombagem	2,01	2,82	0,81	44,67	42,3
	2,83	3,64	0,81	44,67	
	3,64	4,35	0,71	37,58	
Filtro de areia	4,38	5,21	0,83	46,09	43,3
	5,21	6,01	0,80	43,96	
	6,01	6,75	0,74	39,70	
Água de recirculação	0,01	0,63	0,62	31,20	30,4
	0,63	1,24	0,61	30,49	
	1,24	1,83	0,59	29,07	

**Exemplo de cálculo para a água colhida do tanque de bombagem (1º ensaio)****Titulação com nitrato de prata:**

$$V_{\text{titulante}} = V_f - V_i = 2,82 - 2,01 = 0,81 \text{ mL}$$

**Titulação com nitrato de prata ao branco:**

$$V_{\text{branco}} = V_f - V_i = 2,01 - 1,83 = 0,18 \text{ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Cloretos} &= \frac{N_{\text{titulante}} \times (V_{\text{titulante}} - V_{\text{Branco}}) \times 35450}{V_{\text{toma}}} = \\ &= \frac{0,1 \times (0,81 - 0,18) \times 35450}{50} = 44,67 \text{ mg Cl / L} \end{aligned}$$

O cálculo do teor de cloretos foi realizado aos restantes ensaios avaliados, tendo como valor final de cloretos na amostra, a média de todos os ensaios.

**Observações:**

$$V_{\text{toma}} = 50 \text{ mL}$$

$$N_{\text{titulante}} = 0,1 \text{ N}$$

A titulação foi realizada até à obtenção de três valores concordantes de volume de ácido gasto ( $\Delta V < 0,10 \text{ mL}$ ).

## v. Condutividade

A condutividade numa solução exprime a capacidade que essa solução possui para a condução da corrente eléctrica. A corrente é dependente da concentração de iões presentes na solução, sendo directamente proporcional.

A condutividade é um parâmetro importante na medição dos sólidos dissolvidos totais, verificando-se um aumento da corrente eléctrica com a adição na concentração de SDT. Um sinónimo de altos valores de condutividade corresponde à possível existência de um fenómeno de corrosão <sup>[54], [58]</sup>.

As condutividades obtidas na avaliação da água, em pontos específicos do circuito de água da unidade industrial, apresentam-se na **Tabela C.10**.

**Tabela C.10.** Registo dos valores de condutividade nas diferentes amostras de água.

Amostra	Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )
Tanque de Bombagem	275
Filtro de areia	276
Água de compensação	275
Alimentação à caldeira	363
Água de recirculação	184

## vi. Cor

A existência de coloração numa água deve-se à presença de colóides ou partículas em suspensão. As causas para o aparecimento da cor em águas devem-se à existência de matéria orgânica, descarga de efluentes industriais, bem como a presença de óxidos de ferro e manganês <sup>[57], [59]</sup>.

Na **Tabela C.11** são apresentados os valores respeitantes à coloração da água em diferentes pontos do circuito de água.

**Tabela C.11.** Registo dos valores da cor nas diferentes amostras de água.

Amostra	Cor (mg/L Pt-Co)
Tanque de bombagem	76
Filtro de areia	66
Condensados	26
Alimentação à caldeira	22
Purga	550
Água de recirculação	13

### vii. Turvação

A presença de turvação numa água resulta da existência de partículas coloidais, com tamanhos compreendidos entre  $10^{-3}$  e  $1 \mu\text{m}$ , e partículas em suspensão com tamanho superior a  $1 \mu\text{m}$ . A presença destas partículas na água provoca uma redução da sua transparência, devido à dispersão e absorção da luz por parte das partículas <sup>[53], [57], [59]</sup>.

A **Tabela C.12** contempla os valores obtidos das amostras de água dos diferentes pontos da unidade industrial.

**Tabela C.12.** Registo dos valores de turvação nas diferentes amostras de água.

Amostra	Turvação (NTU)
Tanque de bombagem	12
Filtro de areia	12
Condensados	3
Alimentação à caldeira	4
Purga	151
Água de recirculação	3

### viii. Dureza

A dureza total é resultante da existência de catiões metálicos polivalentes, embora os catiões cálcio e magnésio estejam normalmente com concentrações significativas. A dureza total é subdividida em dureza temporária e dureza permanente. A dureza permanente

corresponde à presença de sulfatos, cloretos, nitratos, entre outros. No que diz respeito à dureza temporária, esta resulta da presença de carbonatos e bicarbonatos na água, sendo eliminada este tipo de dureza pela acção do calor, visto que os carbonatos e bicarbonatos precipitam após a água entrar em ebulição <sup>[53], [57], [59]</sup>.

A presença de valores elevados de dureza na água, contribuem para a existência de processos corrosivos, bem como de sujamento <sup>[57]</sup>.

Na **Tabela C.13** encontram-se os valores obtidos para a dureza total, em diferentes pontos de colheita de água, e na **Tabela C.14** são apresentados os valores de dureza classificativos do tipo de água. A partir desta última tabela é possível classificar a água do tanque de bombagem sendo uma água dura, a água após o filtro de areia e a água de recirculação correspondem a uma água moderadamente dura e a água de compensação e alimentação à caldeira são classificadas como água macia. Há a salientar que no decorrer do trabalho laboratorial foi necessário a exclusão de alguns ensaios, tendo em vista que a variação de volume gasto de titulante não deve ser superior a 0,10 mL. Assim, na avaliação da água do tanque de bombagem, da água de compensação e da água de alimentação à caldeira, foram eliminados três ensaios para cada um destes locais.

**Tabela C.13.** Registo dos valores da dureza nas diferentes amostras de água.

Amostra	V <sub>i</sub> (mL)	V <sub>f</sub> (mL)	V <sub>titulante</sub> (mL)	V <sub>toma</sub> (mL)	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza média (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
Tanque de Bombagem	15,42	16,18	0,76	50	152	155
	18,61	19,41	0,80	50	160	
	19,89	20,60	0,76	50	152	
Filtro de areia	18,55	19,11	0,56	50	112	109
	19,11	19,67	0,56	50	112	
	19,97	20,48	0,51	50	102	
Água de compensação	11,15	11,22	0,07	50	14	21,3
	11,22	11,30	0,08	50	16	
	11,30	11,47	0,17	50	34	
Alimentação à caldeira	10,91	10,96	0,05	50	10	16
	10,96	11,09	0,13	50	26	
	11,09	11,15	0,06	50	12	
Água de recirculação	9,79	10,55	0,76	50	152	148
	10,55	11,27	0,72	50	144	
	11,60	12,34	0,74	50	148	

**Exemplo de cálculo para a água colhida do tanque de bombagem (1º ensaio)**

**Titulação com EDTA:**

$$V_{\text{titulante}} = V_f - V_i = 16,18 - 15,42 = 0,76 \text{ mL}$$

$$Dureza = \frac{N_{\text{titulante}} \times V_{\text{titulante}} \times 50000}{V_{\text{toma}}} = \frac{0,2 \times 0,76 \times 50000}{50} = 152 \text{ mg CaCO}_3 / L$$

O mesmo procedimento foi realizado nos dois subsequentes ensaios, sendo a dureza final a média da dureza dos três ensaios.

**Observações:**

$$V_{\text{toma}} = 50 \text{ mL}$$

$$N_{\text{titulante}} = 0,2 \text{ N}$$

A titulação foi realizada até à obtenção de três valores concordantes de volume de ácido gasto ( $\Delta V < 0,10 \text{ mL}$ ).

**Tabela C.14.** Classificação da água de acordo com o seu grau de dureza.

Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Tipo de água
0 - 75	Macia
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
> 300	Muito dura

**ix. Sólidos Dissolvidos Totais**

Os sólidos dissolvidos, tal como o nome indica, correspondem às partículas dissolvidas na água. Na **Tabela C.15** apresentam-se os teores de sólidos dissolvidos presentes em cada tipo de água. De forma a obter valores congruentes, foram rejeitados dois ensaios na análise da água à saída do filtro de areia e da água de alimentação à caldeira, e um ensaio na água do circuito de refrigeração. Na avaliação após a mudança da camada filtrante, foram rejeitados dois ensaios para a água do tanque de bombagem, e um ensaio na análise da água após a passagem no filtro de areia.

**Tabela C.15.** Registo dos valores dos sólidos dissolvidos totais nas diferentes amostras de água.

Amostra	m <sub>C</sub> (g)	m <sub>C+A</sub> (g)	m <sub>A</sub> (g)	V <sub>toma</sub> (L)	SDT (mg/L)	SDT <sub>média</sub> (mg/L)
Tanque de Bombagem	58,0396	58,0492	0,0096	0,05	192	190
	53,1523	53,1618	0,0095	0,05	190	
	45,1446	45,154	0,0094	0,05	188	
Tanque de Bombagem (após troca de leito filtrante)	28,1950	28,1998	0,0048	0,025	192	199
	28,3112	28,3158	0,0046	0,025	184	
	26,1901	26,1956	0,0055	0,025	220	
Filtro de areia	51,2812	51,2856	0,0044	0,025	176	153
	74,8144	74,8181	0,0037	0,025	148	
	26,1863	26,1897	0,0034	0,025	136	
Filtro de areia (após troca de leito filtrante)	29,8886	29,8943	0,0057	0,025	228	241
	30,8861	30,8928	0,0067	0,025	268	
	30,5476	30,5533	0,0057	0,025	228	
Alimentação à caldeira	58,0396	58,043	0,0034	0,025	136	180
	29,5313	29,5356	0,0043	0,025	172	
	28,8307	28,8365	0,0058	0,025	232	
Purga	51,2812	51,402	0,1208	0,025	4832	4902
	45,1457	45,27	0,1243	0,025	4972	
	47,1963	47,3189	0,1226	0,025	4902	
Água de recirculação	75,6729	75,6761	0,0032	0,025	128	123
	30,5448	30,5475	0,0027	0,025	108	
	29,8838	29,8871	0,0033	0,025	132	

**Exemplo de cálculo à água do tanque de bombagem (1º ensaio)****Cálculo da massa final:**

$$m_A = m_{C+A} - m_C = 58,0492 - 58,0396 = 0,0096 \text{ g}$$

$$SDT = \frac{m_A \times 1000}{V_{toma}} = \frac{0,0096 \times 1000}{0,05} = 192 \text{ mg/L}$$

O mesmo procedimento foi realizado nos dois subsequentes ensaios, sendo a concentração de SDT a média das concentrações dos três ensaios.

## x. Sólidos Suspensos Totais

Os sólidos suspensos presentes na água resultam do fenómeno natural de erosão e do transporte para a água de resíduos <sup>[57]</sup>.

A avaliação dos SST exigiu a rejeição de quatro ensaios para a água da purga e para a água à saída do filtro de areia, e um ensaio para a água colhida no tanque de bombagem e para a água de recirculação. Os teores finais de SST encontram-se apresentados na **Tabela C.16**.

**Tabela C.16.** Registo dos valores dos sólidos suspensos totais nas diferentes amostras de água.

Amostra	m <sub>F+V</sub> (g)	m <sub>F+V+A</sub> (g)	m <sub>A</sub> (g)	V <sub>toma</sub> (L)	SST (mg/L)	SST <sub>média</sub> (mg/L)
Tanque de Bombagem	21,1964	21,1966	0,0002	0,1	2	1,67
	24,7955	24,7956	1E-04	0,1	1	
	27,552	27,5521	1E-04	0,05	2	
Tanque de Bombagem (após troca do leito filtrante)	24,9177	24,9179	0,0002	0,025	8	9,33
	24,7665	24,7668	0,0003	0,025	12	
	24,9202	24,9204	0,0002	0,025	8	
Filtro de areia	24,6164	24,6165	1E-04	0,1	1	3,5
	24,4089	24,4091	0,0002	0,1	2	
	24,612	24,6121	1,E-04	0,025	4	
Filtro de Areia (após troca do leito filtrante)	24,4118	24,4124	0,0006	0,025	24	22,7
	24,9744	24,9751	0,0007	0,025	28	
	25,9362	25,9366	0,0004	0,025	16	
Alimentação à caldeira	24,6164	24,6165	1E-04	0,1	1	3,5
	24,4089	24,4091	0,0002	0,1	2	
	24,9172	24,9173	1E-04	0,025	4	
Purga	24,9352	24,949	0,0138	0,025	552	558,7
	27,5535	27,5671	0,0136	0,025	544	
	24,7079	24,7224	0,0145	0,025	580	
Água de recirculação	20,7666	20,7669	0,0003	0,025	12	14,7
	24,8524	24,8528	0,0004	0,025	16	
	24,7969	24,7973	0,0004	0,025	16	

**Exemplo de cálculo à água do tanque de bombagem (1º ensaio)**

**Cálculo da massa final:**

$$m_A = m_{F+V+A} - m_{F+V} = 21,1966 - 21,1964 = 0,0002 \text{ g}$$

$$SST = \frac{m_A \times 1000}{V_{toma}} = \frac{0,0002 \times 1000}{0,1} = 2 \text{ mg / L}$$

O mesmo procedimento foi realizado nos dois subsequentes ensaios, sendo a concentração de SST a média das concentrações dos três ensaios.

**xi. Oxidabilidade**

A oxidabilidade de uma água, pelo permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>), é avaliada a partir da oxidação dos componentes inorgânicos e orgânicos redutores em solução, tendo-se obtido para a água do tanque de bombagem o valor de 3,65 mg O<sub>2</sub>/L. Inicialmente foi necessário a determinação do volume equivalente de KMnO<sub>4</sub> 0,01 N a 10,00 mL de ácido oxálico (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) 0,01N, a partir de uma titulação, sendo o volume final de aproximadamente 1 mL, tal como é apresentado na **Tabela C.17**. Na **Tabela C.18** encontram-se evidenciados os valores que levaram à obtenção do valor final de oxidabilidade.

**Tabela C.17.** Registo dos valores referentes ao volume de permanganato de potássio.

V <sub>i</sub> (mL)	V <sub>f</sub> (mL)	V <sub>titulante</sub> (mL)	V (mL)
11,66	12,66	1,00	
12,66	13,68	1,02	0,99
13,68	14,64	0,96	

**Tabela C.18.** Registo dos valores para a determinação da oxidabilidade.

V <sub>i</sub> (mL)	V <sub>f</sub> (mL)	V <sub>titulante</sub> (mL)	V <sub>1</sub> (mL)	Oxidabilidade (mg O <sub>2</sub> /L)
9,85	10,35	0,50		
10,45	10,88	0,43	0,46	3,65
10,88	11,32	0,44		

### Determinação da oxidabilidade

#### Determinação do volume equivalente de $\text{KMnO}_4$ :

$$V_{\text{titulante}} = V_f - V_i = 12,66 - 11,66 = 1 \text{ mL}$$

O mesmo procedimento foi realizado nos dois subseqüentes ensaios, sendo o volume posteriormente a adicionar à solução, o correspondente à média dos três ensaios.

#### Determinação da oxidabilidade:

$$V_{\text{titulante}} = V_f - V_i = 10,35 - 9,85 = 0,5 \text{ mL}$$

O mesmo procedimento foi realizado nos dois subseqüentes ensaios, sendo o valor do volume  $V_1$  correspondente à média dos três ensaios.

$$\text{Oxidabilidade} = \frac{[(n-1) \times V + V_1] \times 8}{V} = \frac{[(1-1) \times 1 + 0,46] \times 8}{1} = 3,65 \text{ mg } O_2 / L$$

#### **Observações:**

O símbolo  $n$  corresponde ao número total de volumes  $V$  de  $\text{KMnO}_4$  adicionados à solução até se verificar uma persistência da cor rosa.

## xii. Fosfatos

Os fosfatos, tal como mencionado anteriormente, possuem uma acção protectora contra os ataques corrosivos, bem como na redução da dureza. O valor apresentado na água do tanque de bombagem correspondeu a  $2,54 \text{ mg PO}_4^{3-}$ .

## xiii. Nitratos

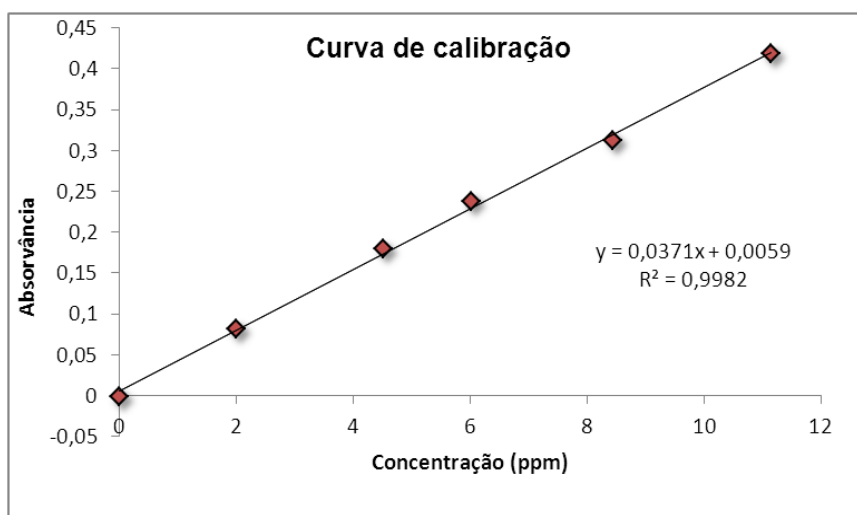
Os nitratos correspondem à forma mais completa de oxidação do azoto, sendo conhecido como um indicador de poluição, em que a sua presença induz ao fenómeno de eutrofização da água <sup>[57]</sup>.

A leitura da absorvância na amostra foi realizada utilizando dois comprimentos de onda, visto que o comprimento de onda de 275 nm determinou a interferência de matéria orgânica dissolvida. Na **Tabela C.19** encontram-se apresentados os valores que possibilitaram a posterior elaboração da curva de calibração demonstrada na **Figura C.1**. Na

**Tabela C.20** são apresentadas os valores das absorvâncias que possibilitaram a determinação da concentração de nitratos em solução.

**Tabela C.19.** Dados da calibração a partir dos padrões de nitratos.

Concentração (ppm)	Absorvância
0	- 0,001
2	0,082
4,524	0,18
6,031	0,238
8,445	0,312
11,16	0,419



**Figura C.1.** Curva de calibração do teor de nitratos.

**Tabela C.20.** Determinação do teor de nitratos na água.

Absorvância			Concentração (mg/L)
220 nm	275 nm	Total	
0,275	0,012	0,263	6,93

### Determinação de nitratos

#### Cálculo da absorvância final da amostra:

$$\text{Abs}_{\text{total}} = \text{Abs}_{220} - \text{Abs}_{275} = 0,275 - 0,012 = 0,263$$

#### Determinação da concentração em nitratos:

$$\text{Nitratos} = \frac{0,263 - 0,0059}{0,0371} = 6,93 \text{ mg / L}$$

#### **Observações:**

A determinação da concentração de nitratos foi efectuada a partir da curva de calibração.

#### xiv. Sulfatos

Os sulfatos, tal como mencionado anteriormente, são alguns dos catiões polivalentes que contribuem para o aparecimento da dureza numa água. Na **Tabela C.21** é apresentado o valor da concentração de sulfatos na amostra recolhida no tanque de bombagem.

**Tabela C.21.** Registo dos valores para a quantificação do teor de sulfatos.

$m_i$ (g)	$m_f$ (g)	$m \text{ BaSO}_4$ (g)	$V_{\text{toma}}$ (mL)	Sulfatos (mg/L)
24,6109	24,6197	0,0088	50	7,24E-5

#### Determinação do teor de sulfatos

#### Cálculo da massa de sulfato de bário ( $\text{BaSO}_4$ ):

$$m_{\text{BaSO}_4} = m_f - m_i = 24,6197 - 24,6109 = 0,0088 \text{ g}$$

#### Determinação do teor de sulfatos:

$$\text{Sulfatos} = \frac{m_{\text{BaSO}_4} \times 411,6}{V_{\text{toma}}} = \frac{0,0088 \times 411,6}{50 \times 1000} = 7,24E - 5 \text{ mg / L}$$

## xv. Metais

### ➤ Cobre

O cobre é um elemento que se encontra presente, em baixas concentrações, na água subterrânea. O aparecimento de cobre pode ter diversas fontes tais como a partir da corrosão de tubos de cobre e latão, recurso a algicidas aquáticos com componentes de cobre, e elevados teores de cobre na água pode significar a existência de um processo de corrosão no sistema <sup>[60]</sup>.

No que toca à quantificação da concentração de cobre na água de alimentação à caldeira, foi necessário uma prévia calibração do método, obtendo-se os valores presentes na **Tabela C.22**.

**Tabela C.22.** Dados da calibração a partir dos padrões de cobre.

Concentração (ppm)	Absorvância
0	0,002
1	0,157
3	0,309
4	0,567
5	0,689
6	0,802

A análise do cobre presente na água, demonstrou valores abaixo da gama de concentrações, tal como é comprovado pela **Tabela C.23**, sugerindo que a quantidade de cobre contido na água é praticamente inexistente.

**Tabela C.23.** Registo das absorvâncias obtidas para a água de alimentação à caldeira.

Amostra	Absorvância
1	0,001
2	0,001

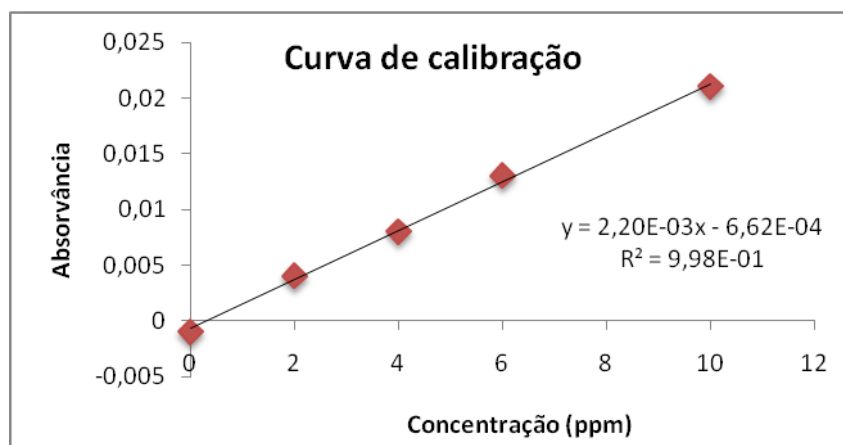
### ➤ Ferro

O ferro encontra-se mais vulgarmente na natureza sob duas formas oxidadas, sendo elas a forma de catião  $Fe^{2+}$  e de catião  $Fe^{3+}$ .

O principal problema relacionado com a qualidade da água industrial incidia na presença de elevados teores de ferro na água, estando apresentada na **Tabela C.24** os dados de calibração que possibilitaram a realização da curva de calibração ilustrada na **Figura C.2**. Posteriormente, a partir da quantificação da absorvância para cada uma das amostras, procedeu-se à determinação da concentração de ferro através da equação da recta da curva de calibração, estando as concentrações apresentadas na **Tabela C.25**.

**Tabela C.24.** Dados da calibração a partir dos padrões de ferro.

Concentração (ppm)	Absorvância
0	-0,001
2	0,004
4	0,008
6	0,013
10	0,021



**Figura C.2.** Curva de calibração da concentração de ferro.

**Tabela C.25.** Resultados obtidos para a quantificação de ferro.

Amostra	Absorvância	Concentração (ppm)
Tanque de bombagem	0,004	2,12
Filtro de areia	0,002	1,21
Água de recirculação	0,002	1,21
Alimentação à caldeira	0,002	1,21

---

**Exemplo de cálculo para a água colhida do tanque de bombagem**

---

$$\text{Ferro} = \frac{0,004 - 0,000662}{0,0022} = 2,12 \text{ mg / L}$$

**Observações:**

A determinação da concentração de ferro foi efectuada a partir da curva de calibração.

---

➤ **Potássio**

O valor auferido na quantificação da concentração de potássio, referente à água do tanque de bombagem, correspondeu a 1 ppm, tendo sido avaliada de forma directa.

➤ **Sódio**

Em relação à avaliação do sódio, esta foi realizada de forma directa, tendo como concentração o valor de 26 ppm para a amostra colhida no tanque de bombagem.

➤ **Cálcio**

O cálcio, tal como foi referido anteriormente, constitui um dos principais catiões geradores da dureza numa água.

Na **Tabela C.26** encontram-se os valores de calibração que possibilitaram a elaboração da curva de calibração ilustrada na **Figura C.3**. Na **Tabela C.27** encontra-se referido o valor obtido para a absorvância da água e a sua correspondente concentração.

**Tabela C.26.** Dados da calibração a partir dos padrões de cálcio.

<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Absorvância</b>
0	0
1	0,032
2	0,047
3	0,066
4	0,081
5	0,102

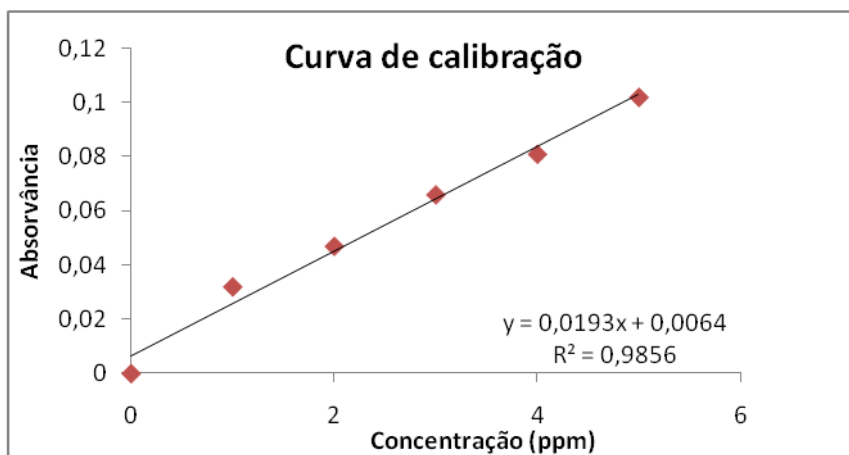


Figura C.3. Curva de calibração da concentração do cálcio.

Tabela C.27. Registo dos valores obtidos para a concentração do catião cálcio.

Amostra	Absorvância	Concentração (ppm)
1	0,031	1,27

#### Determinação da concentração de cálcio

$$\text{Cálcio} = \frac{0,031 - 0,0064}{0,0193} = 1,27 \text{ ppm}$$

#### Observações:

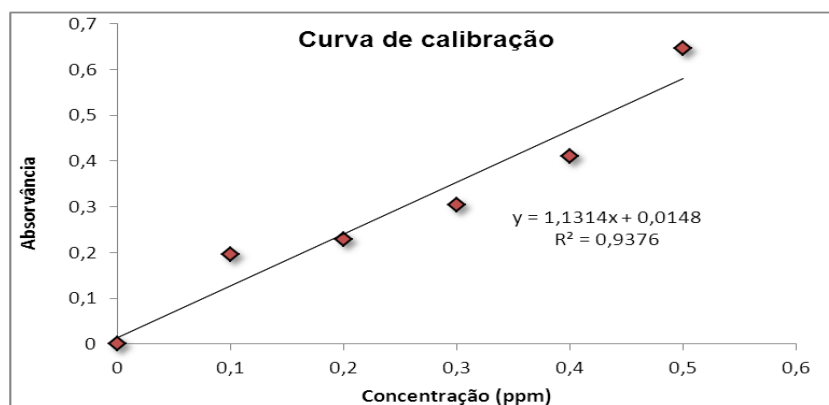
A determinação da concentração de cálcio foi efectuada a partir da curva de calibração.

#### ➤ Magnésio

O magnésio, tal como o catião cálcio, é um dos responsáveis pela dureza na água. Na **Tabela C.28** são apresentados os valores de calibração que permitiram a obtenção da curva de calibração ilustrada na **Figura C.4**. Na **Tabela C.29** encontra-se registado o valor obtido de magnésio para a água do tanque de bombagem.

**Tabela C.28.** Dados da calibração a partir dos padrões de magnésio.

Concentração (ppm)	Absorvância
0	0
0,1	0,195
0,2	0,228
0,3	0,305
0,4	0,411
0,5	0,647

**Figura C.4.** Curva de calibração da concentração do magnésio.**Tabela C.29.** Registo do valor da concentração de magnésio.

Amostra	Absorvância	Factor de diluição	Concentração (ppm)
1	0,409	25	8,71

### Determinação da concentração de magnésio

$$\text{Magnésio} = \frac{0,409 - 0,0148}{1,1314} \times 25 = 8,71 \text{ ppm}$$

#### Observações:

A determinação da concentração de magnésio foi efectuada a partir da curva de calibração. Devido à amostra encontrar-se com uma concentração superior às concentrações dos padrões, foi necessário diluir a amostra vinte e cinco vezes, correspondendo esse valor ao factor de diluição.

### xvi. Óleo emulsionado

O óleo emulsionado, de acordo com informações por parte da empresa, demora cerca de 15 dias para perfazer 1000 L. De forma a conhecer a quantidade de óleo na água dos condensados do compressor, foi realizada uma desidratação a um volume conhecido de amostra, tendo restado apenas uma percentagem de óleo. Na **Tabela C.30** encontram-se mencionados os valores que permitiram a quantificação do óleo.

**Tabela C.30.** Registo do valor obtido para a quantificação de óleo.

$m_i$ (g)	$m_f$ (g)	$m_{\text{óleo}}$ (g)	$V_{\text{toma}}$ (mL)	Óleo (mg/L)
75,6794	75,6807	0,0013	30	43,3

#### Determinação do óleo na água dos condensados do compressor

##### Cálculo da massa final:

$$m_{\text{óleo}} = m_f - m_i = 75,6807 - 75,6794 = 0,0013 \text{ g}$$

##### Determinação da concentração de óleo em solução:

$$\text{Óleo} = \frac{m_{\text{óleo}} \times 1000}{V_{\text{toma}}} = \frac{0,0013 \times 1000}{30} = 0,0433 \text{ g/L} = 43,3 \text{ mg/L}$$

Na **Figura C.5** são apresentados os valores limite de emissão em colectores municipais, em relação ao município de Matosinhos.

- 1 — Normas gerais:
- 1) pH entre 6.0 e 9.0;
  - 2) Temperatura não superior a 30° C;
  - 3) A cor não deve exceder 45 unidades da escala Pt-Co. o ser visível após uma diluição de 1.20 com esgoto doméstico típico;
  - 4) Os sólidos grosseiros não devem ter dimensão superior a 5 mm;
  - 5) Concentração de sólidos suspensos totais (SST) inferior a 1000 mg/l;
  - 6) Carência química de oxigénio (CQO) inferior a 2000 mg/l;
  - 7) A razão CBOS/CQO igual ou superior a 0.25;
  - 8) Arsénio total inferior a 1 mg/l;
  - 9) Chumbo total inferior a 1 mg/l;
  - 10) Cádmio total inferior a 0.2 mg/l;
  - 11) Crómio total inferior a 2 mg/l;
  - 12) Crómio hexavalente inferior a 0.1 mg/l;
  - 13) Cobre total inferior a 1 mg/l;
  - 14) Níquel total inferior a 2 mg/l;
  - 15) Mercúrio total inferior a 0.05 mg/l;
  - 16) Cloro residual disponível total inferior a 1 mg/l;
  - 17) Cianetos totais inferiores a 0.5 mg/l;
  - 18) Sulfuretos inferiores a 0.5 mg/l;
  - 19) Óleos minerais inferiores a 15 mg/l;
  - 20) Hidrocarbonetos totais inferiores a 10 mg/l;
  - 21) Detergentes (biodegradabilidade > 90%) inferiores a 10 mg/l;
  - 22) Aldeídos inferiores a 2.0 mg/l;
  - 23) Fenóis inferiores a 0.5 mg/l;
  - 24) Amónia inferior a 10.0 mg/l.

**Figura C.5.** Normas de qualidade de descarga em colectores municipais.

### Anexo C.3. Dosagem de coagulante

De forma a determinar a dose ideal de sulfato de alumínio para a formação de flocos da água oriunda dos furos, efectuou-se ensaios no Jar-Test, utilizando uma concentração de coagulante de 20 g/L e um volume de amostra de 500 mL. Na **Tabela C.31** encontram-se tabelados os valores óptimos de pH, assim como os volumes gastos para cada pH. De salientar que o valor de pH óptimo correspondeu a 9, devido à formação de flocos ocorrer pela adição de um menor volume de coagulante e uma melhor clarificação da amostra, comparativamente com os restantes valores de pH. O pH final, para os ensaios utilizando pH igual a 9, corresponde a um valor de aproximadamente 6. No **Anexo D.5**, são apresentados os cálculos da determinação da dosagem óptima, de acordo com as condições mais favoráveis para o processo de coagulação.

**Tabela C.31.** Volume de coagulante adicionado para os diferentes valores de pH.

pH	V <sub>coagulante</sub> (mL)
7	10
8	16
	6
9	6
	6

## ANEXO D

---

Neste anexo encontram-se apresentadas as especificações dos equipamentos propostos para implementação na unidade industrial, expondo os dimensionamentos efectuados. Os esquemas contendo as alterações propostas enquadram-se neste anexo, bem como os custos do seu funcionamento e o custo dos equipamentos e produtos.

---



### Anexo D.1. Esquemas futuros

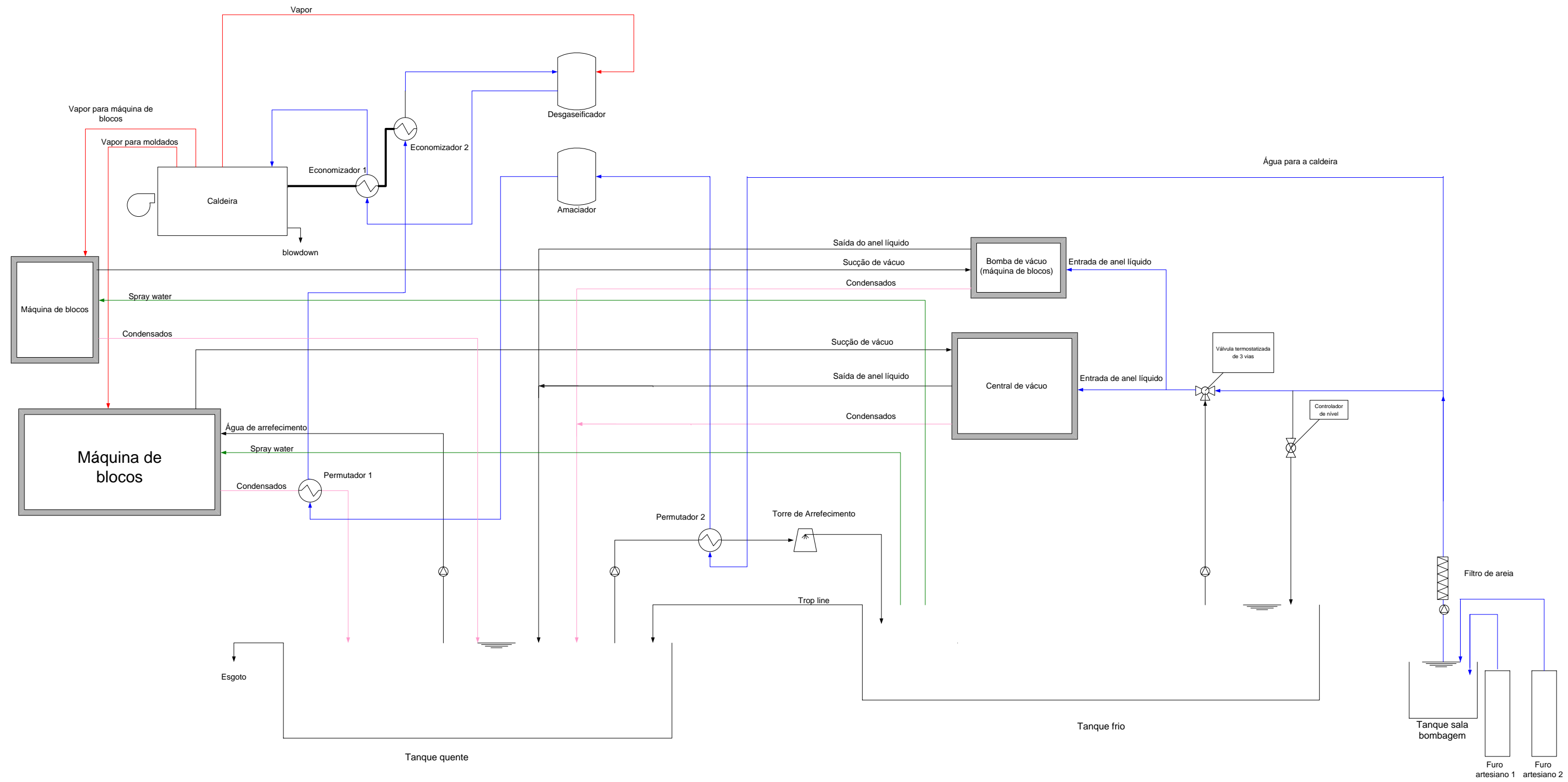


Figura D.1. Esquema proposto pela Petibol.



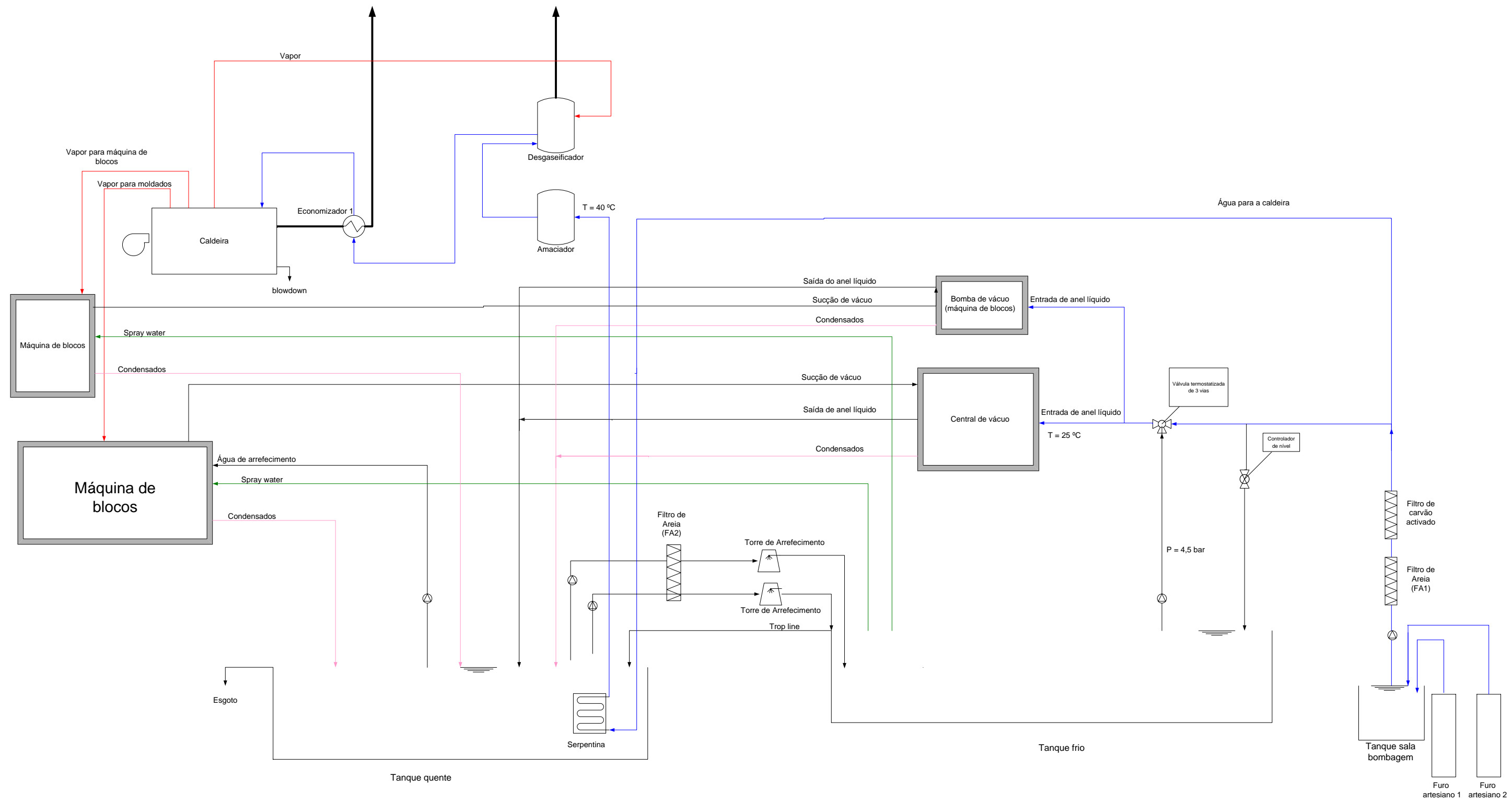


Figura D.2. Esquema proposto na unidade industrial.



## Anexo D.2. Dimensionamento dos equipamentos

- **Filtro de areia**

O filtro de areia é um dos equipamentos a colocar no circuito de arrefecimento, antes da entrada de água na torre de arrefecimento. O segundo filtro de areia, diz respeito à substituição do filtro já existente no local, devido a problemas operatórios, bem como não possuir as dimensões ideais para a filtração de água industrial. A altura da camada filtrante foi estipulada para um valor superior a 1,0 m, de acordo com o autor Richter <sup>[42]</sup>.

### ***Circuito de arrefecimento***

**Cálculo da área de filtração:**

$$v_f = \frac{\dot{v}}{A_f} \Leftrightarrow 30 = \frac{34}{A_f} \Leftrightarrow A_f = 1,133 m^2$$

**Cálculo do diâmetro do filtro:**

$$\phi_f = \sqrt{\frac{4 \times A_f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,133}{\pi}} = 1,20 m$$

**Condições operatórias:**

O caudal de entrada no filtro de areia corresponde ao caudal de entrada na torre de arrefecimento, sendo de 34 m<sup>3</sup>/h. Este valor foi conhecido a partir das características apresentadas no próprio manual da torre de arrefecimento.

### ***Tanque de Bombagem***

**Cálculo da área de filtração:**

$$v_f = \frac{\dot{v}}{A_f} \Leftrightarrow 30 = \frac{5,20}{A_f} \Leftrightarrow A_f = 0,17 m^2$$

**Cálculo do diâmetro do filtro:**

$$\phi_f = \sqrt{\frac{4 \times A_f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,17}{\pi}} = 0,47 m$$

**Condições operatórias:**

O caudal de entrada no filtro de carvão activado corresponde ao caudal médio de entrada no filtro de areia actual, de valor igual a 5,20 m<sup>3</sup>/h, tal como é referido no **Capítulo 3**.

A velocidade de filtração encontra-se de acordo com a velocidade recomendável para meios filtrantes com uma altura superior a 1,0 m <sup>[48]</sup>.

- **Filtro de carvão activado**

O filtro de carvão activado é proposta a sua localização após o filtro de areia da área de bombagem, tal como é figurado na **Figura D.2**, permitindo assim a remoção de cor e odor, e a remoção das quantidades de cloro, adicionadas a montante do filtro de areia.

---

**Tanque de Bombagem**

---

**Cálculo da área de filtração:**

$$v_f = \frac{\dot{v}}{A_f} \Leftrightarrow 30 = \frac{5,20}{A_f} \Leftrightarrow A_f = 0,17 m^2$$

**Cálculo do diâmetro do filtro:**

$$\phi_f = \sqrt{\frac{4 \times A_f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,17}{\pi}} = 0,47 m$$

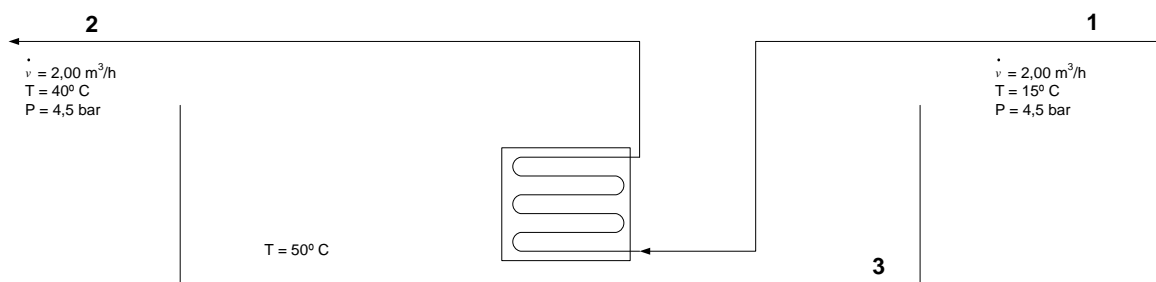
**Condições operatórias:**

O caudal de entrada no filtro de carvão activado corresponde ao caudal médio de entrada no filtro de areia actual, sendo de 5,20 m<sup>3</sup>/h, tal como é referido no **Capítulo 3**.

A velocidade de filtração encontra-se de acordo com a velocidade indicada para meios filtrantes com uma altura superior a 1,0 m<sup>[48]</sup>.

- **Serpentina**

A serpentina será colocada no tanque de água quente afim de promover o aquecimento da água proveniente do tanque de bombagem, possibilitando a redução do consumo de vapor no desgaseificador. A colocação permite a entrada de água à temperatura de 40 °C em oposição à situação actual, correspondendo a água à temperatura de 15 °C.



**Figura D.3.** Representação esquemática da serpentina no interior do tanque de água quente.

### Propriedades físicas da água

A **Tabela F.1** <sup>[61]</sup> forneceu a informação do valor da pressão de saturação para a água à temperatura de 15 °C, em que

$$P_{s(T=15\text{ }^{\circ}\text{C})} = 0,017 \text{ bar}, P > P_s \text{ logo}$$

possibilitando concluir que se trata de um líquido comprimido.

O site da SpiraxSarco <sup>[62]</sup> contém informações relativas às propriedades físicas da água para diferentes pressões de operação. Partindo dos dados do estado físico da água, da pressão e temperatura, obteve-se as seguintes propriedades:

$$\rho_1 = 999,347 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{p1} = 4.182,23 \text{ J/kg.K}$$

$$\mu_1 = 1,1378\text{E-}3 \text{ Pa.s}$$

A consulta da **Tabela A.2 – 11** <sup>[63]</sup>, possibilitou o conhecimento do valor referente à condutividade térmica da água, correspondendo a

$$k_1 = 0,5877 \text{ W/m.K}$$

Relativamente à corrente de água à saída da serpentina **(2)**, a determinação das propriedades físicas foi elaborada de igual forma à realizada para a corrente de entrada de água na serpentina **(1)**.

$P_s (T = 40 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,07 \text{ bar}$ ,  $P > P_s$  logo a corrente 2 corresponde a um líquido comprimido.

$$\rho_2 = 992,402 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp_2 = 4.181,13 \text{ J/kg.K}$$

$$\mu_2 = 6,533\text{E-}4 \text{ Pa.s}$$

$$k_2 = 0,6310 \text{ W/m.K}$$

No que respeita à água do tanque de água quente (3), devido a esta se encontrar à pressão atmosférica, as suas propriedades foram determinadas somente a partir da consulta da **Tabela A.2 – 11** <sup>[63]</sup>.

$P_s (T = 50 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,01 \text{ bar}$ ,  $P > P_s$  logo o banho 3 corresponde a um líquido comprimido.

$$\rho_3 = 998,07 \text{ kg/m}^3$$

$$k_3 = 0,6435 \text{ W/m.K}$$

$$Cp_3 = 4.183 \text{ J/kg.K}$$

$$\mu_3 = 5,494\text{E-}4 \text{ Pa.s}$$

**Dimensionamento da serpentina**

**Valores estipulados**

$$\begin{aligned} d_i &= 2 \text{ cm} \\ d_e &= 3 \text{ cm} \\ L_{\text{serp.}} &= 50 \text{ m} \\ d_c &= 1,50 \text{ m} \end{aligned}$$

**Observações:**

Os valores arbitrados foram atribuídos tendo em conta as dimensões do tanque a que se destina a serpentina, bem como a garantir a existência de regime turbulento da água no interior da serpentina, de forma a aplicar as equações descritas para o dimensionamento.

**Cálculo do  $h_i$**

$$\frac{h_i \times d_i}{k} = \left[ 0,023 \times \left( \frac{d_i \times u \times \rho}{\mu} \right)^{0,8} \times \left( \frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{0,4} \right] \times \left( 1 + \frac{d_i}{d_c} \right) \quad (D.1)$$

**Cálculo do  $u$ :**

$$u = \frac{\dot{v}}{A_{\text{int.}}} = \frac{2,00}{\pi \times \left( \frac{2,00 \times 10^{-2}}{2} \right)^2} = 6366 \text{ m/h} = 1,77 \text{ m/s}$$

**Cálculo das propriedades médias físicas da água:**

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} = \frac{999,347 + 992,408}{2} = 995,878 \text{ kg/m}^3$$

$$k = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{0,5877 + 0,6310}{2} = 0,6094 \text{ W/m.K}$$

$$\mu = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} = \frac{1,1378 \times 10^{-3} + 6,533 \times 10^{-4}}{2} = 8,956 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$$

$$Cp = \frac{Cp_1 + Cp_2}{2} = \frac{4182,23 + 4181,13}{2} = 4181,68 \text{ J/kg.K}$$

Substituindo em (D.1):

$$\frac{h_i \times 2,0 \times 10^{-2}}{0,6094} = \left[ 0,023 \times \left( \frac{2,0 \times 10^{-2} \times 1,77 \times 995,878}{8,956 \times 10^{-4}} \right)^{0,8} \times \left( \frac{4181,68 \times 8,956 \times 10^{-4}}{0,6094} \right)^{0,4} \right] \times \left( 1 + \frac{2,0 \times 10^{-2}}{1,50} \right) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow h_i = 6964 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

**Observações:**

As propriedades físicas correspondem a valores médios devido à ocorrência de uma variação de temperatura no interior da serpentina.

A equação (D.1) <sup>[64]</sup> permite a determinação do coeficiente de transferência de calor do fluido interno na serpentina.

### Cálculo do $h_e$

$$Nu = \frac{h_e \times L}{k_3} = a \times (Gr \times Pr)^m \quad \text{(D.2)}$$

O banho onde se destina a serpentina, não possui uma agitação mecânica devido à existência de uma agitação natural por parte da confluência das águas, verificando-se a impossibilidade de assumir a correlação referente à determinação do coeficiente de transferência de calor exterior para uma serpentina imersa num banho com agitação mecânica. Assim, embora não seja um modelo similar à situação real, considerou-se como sendo um tubo cilíndrico vertical, imerso em água com convecção natural. A serpentina é igualada a um tubo cilíndrico devido à proximidade das espirais, havendo um erro associado a este modelo.

**Cálculo do número de Grashof:**

$$\Delta T = T_3 - T_{pe} = 50 - 40 = 10^\circ \text{C}$$

$$Gr = \frac{L^3 \times \rho_3^2 \times g \times \beta \times \Delta T}{\mu_3^2} = \frac{1^3 \times 998,07^2 \times 9,80665 \times 4,03 \times 10^{-4} \times 10}{(5,494 \times 10^{-4})^2} = 1,30 \times 10^{11}$$

O valor de  $\beta$  foi determinado a partir da Tabela A.2 – 11 <sup>[63]</sup> através da temperatura do tanque, correspondendo a  $4,03 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

**Cálculo do número de Prandtl:**

$$Pr = \frac{Cp_3 \times \mu_3}{k_3} = \frac{4183 \times 5,494 \times 10^{-4}}{0,6435} = 3,57$$

$$Gr \times Pr = 1,30 \times 10^{11} \times 3,57 = 4,66 \times 10^{11}$$

De acordo com a **Tabela 4.7 – 1** <sup>[63]</sup>, e considerando um cilindro vertical para um L < 1m, em que  $Gr \times Pr > 10^9$ , os valores a assumir para **m** e **a** correspondem a  $\frac{1}{3}$  e 0,13, respectivamente. Assim, substituindo na expressão **(D.2)** vem

$$\frac{h_e \times 1}{0,6435} = 0,13 \times (4,66 \times 10^{11})^{\frac{1}{3}} \Leftrightarrow h_e = 648 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

O valor de  $h_e$ , embora exista um erro associado, possui a mesma ordem de grandeza do valor apresentado na **Tabela 1- 2** <sup>[65]</sup>. O valor apresentado é de 890 W/m<sup>2</sup>.K, correspondente a convecção natural para uma variação de temperatura igual a 30 °C, para um cilindro horizontal em água, com altura de 2 cm.

**Cálculo de A:**

$$\frac{1}{U \times A} = \frac{1}{h_i \times A_i} + \frac{\Delta r}{k_w \times Am_{ln}} + \frac{1}{h_e \times A_e} + \frac{R_e}{A_e} + \frac{R_i}{A_i} \quad \text{(D.3)}$$

$$A_i = 2 \times \pi \times r_i \times L_{serp.} = 2 \times \pi \times 1,0 \times 10^{-2} \times 50 = 3,14 \text{ m}^2$$

$$A_e = 2 \times \pi \times r_e \times L_{serp.} = 2 \times \pi \times 1,5 \times 10^{-2} \times 50 = 4,71 \text{ m}^2$$

$$Am_{ln} = \frac{2 \times \pi \times (r_e - r_i)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} \times L = \frac{2 \times \pi \times (1,5 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-2})}{\ln\left(\frac{1,5 \times 10^{-2}}{1,0 \times 10^{-2}}\right)} \times 50 = 3,87 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_m = \frac{(T_3 - T_2) - (T_3 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_3 - T_2}{T_3 - T_1}\right)} = \frac{(50 - 40) - (50 - 15)}{\ln\left(\frac{50 - 40}{50 - 15}\right)} = 19,96^\circ \text{ C}$$

O material escolhido para a serpentina foi o aço inoxidável, sendo a sua condutividade térmica determinada a partir do **Quadro 12.6** <sup>[66]</sup>, sendo que para aço inoxidável (18/8) e a uma gama de temperatura de 0 a 100 °C, a condutividade correspondente é de 16 W/m.°C.

Os valores referentes ao sujamento interior e exterior, foram retirados do **Quadro 12.2** <sup>[66]</sup>, estipulando que o fluido interno provinha da água do rio, enquanto o fluido externo correspondia a condensado de vapor de água, resultando os seguintes intervalos:

$$h_{id} = 3000 - 12000 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

$$h_{sd} = 1500 - 5000 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

Para efeitos de cálculo, foi determinado o valor médio do coeficiente de sujamento, tanto para o lado externo à serpentina, como para o lado interno, tal como é apresentado:

$$h_{id} = 7500 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

$$h_{sd} = 3250 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

$$R_e = \frac{1}{h_{sd}} = \frac{1}{3250}$$

$$R_i = \frac{1}{h_{id}} = \frac{1}{7500}$$

De acordo com o **Quadro 12.1** <sup>[66]</sup>, para serpentinas imersas com circulação natural, em que o fluido interno corresponde a uma solução aquosa, e o banho em que esta se encontra mergulhada corresponde a água, o coeficiente global típico encontra-se entre 200 e 500 W/m<sup>2</sup>.°C. Embora esta situação não corresponda ao caso real, é a que mais se aproxima comparativamente às restantes situações apresentadas no mesmo quadro. O coeficiente admitido corresponde ao valor médio, sendo de 350 W/m<sup>2</sup>.°C.

Substituindo na expressão **(D.3)** vem,

$$\frac{1}{350 \times A} = \frac{1}{6964 \times 3,14} + \frac{(1,5 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-2})}{16 \times 3,87} + \frac{1}{648 \times 4,17} + \frac{1}{3250 \times 4,17} + \frac{1}{7500 \times 3,14} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow A = 2,89 \text{ m}^2$$

## Anexo D.3. Especificações dos equipamentos

As especificações técnicas dos equipamentos encontram-se mencionadas neste sub-capítulo, tendo como base as informações dadas pelos fornecedores.

- **Electro – agitador**

O electro-agitador, comercializado pela *Petrolusa, LDA.*, possui um eixo e hélice em polipropileno, para além das seguintes características:

- eixo/lança: comprimento = 1200 mm;
- hélice: diâmetro = 160 mm;
- motor: 0,33 CV – 940 RPM – Trifásico.

- **Bomba doseadora HC 100 PI**

A bomba doseadora de modelo HC 100 PI é utilizada tanto para o doseamento do sulfato de alumínio, como no doseamento do hipoclorito de sódio, sendo duas bombas distintas. A empresa *MicroPAL* é a empresa comercializadora deste equipamento, tendo este equipamento as seguintes características:

- dimensões:
  - o largura = 134 mm;
  - o altura = 208 mm;
  - o profundidade = 127 mm.
- caudal proporcional ao contador;
- protecção: IP – 54;
- pressão de serviço: 2 L a 10 bar;
- temperatura de trabalho: 0 a 45 °C;
- regulação manual de impulsos;
- alimentação: 240 v.

- **Bomba doseadora HC 100 PI**

A bomba doseadora permite o controlo do pH, sendo essencial a sua colocação no tanque de bombagem, de forma a controlar o valor de pH para um valor igual a 9, bem como na água da descarga industrial, tendo em vista o cumprimento da legislação local, sendo que o pH da descarga industrial não deve ultrapassar valores superiores a 9. A *MicroPAL* é a empresa que comercializa este equipamento, possuindo as seguintes características:

- dimensões (largura x altura x profundidade), mm: 134x208x127;
- caudal proporcional ao contador;
- protecção: IP-54;
- pressão de serviço: 2 L a 10 bar;
- temperatura de trabalho: 0 a 45 °C;
- regulação proporcional ao setpoint pH;
- alimentação: 240v.

- **Bomba com balão**

A bomba com balão, apresentada na **Figura D.4**, é proposta a sua inclusão no circuito de arrefecimento, sendo fornecida por João Caseiro, através da *Efaflu*, tendo disponibilizado as seguintes características:

- bomba auto-ferrante;
- temperatura máxima: 40 °C;
- pressão máxima: 10 bar;
- temperatura máxima do ambiente: 40 °C;
- corpo da bomba: aço inoxidável;
- turbina: latão;
- veio: aço carbono;
- empanque: mecânico.



**Figura D.4.** Bomba com balão da série GP Jet i.

- **Filtro de areia (FA1)**

O filtro de areia proposto tem como finalidade colmatar o deficiente funcionamento do filtro actual, situado após o tanque de bombagem. O filtro indicado corresponde ao modelo

FTC 263/21 da gama de fornecedores *MicroPAL*, tendo esta empresa disponibilizado informações relativas ao equipamento:

- limpeza em contra-corrente, de forma manual;
  - alta eficiência de filtração, permitindo a remoção de SST sem alcançar a saturação;
  - controlo cromométrico;
  - leito composto por antracite e sílex;
  - in/out: 1";
  - lavagem/comando: automático;
  - área de filtração: 0,22 m<sup>2</sup>;
  - dimensões (altura x diâmetro), mm: 1945 x 550;
  - caudal: 5,5 m<sup>3</sup>/h.
- **Filtro de areia (FA2)**

O filtro de areia, proposto para a colocação no circuito da água de arrefecimento, é composto pelas especificações técnicas apontadas na **Tabela D.1**. O fornecedor do equipamento, *Ambietel – Tecnologias Ambientais, Lda*, cedeu informações relativamente às características do equipamento, sendo as seguintes:

- sistema de filtração com braços colectores;
- filtro industrial bobinado com sistema roto-bobinagem à base de poliéster e fibra de vidro;
- manómetro incluído;
- pressão máxima de serviço de 2,5 kg/cm<sup>2</sup>;
- temperatura máxima de 50 °C;
- leito filtrante com altura de 1m;
- visor e bocal de homem lateral disponíveis sob pedido (opcional).

**Tabela D.1.** Especificações técnicas do filtro de areia da água de arrefecimento.

Diâmetro (mm)	Diâmetro das ligações (mm)	Área de filtração (m <sup>2</sup> )	Velocidade de filtração (m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Peso em serviço (kg)	Altura (mm)
1050	75	0,86	30/40	25/34	1850	1780

- **Filtro de carvão activado**

O filtro de carvão activado, comercializado pela *MicroPAL* e apresentado na **Figura D.5**, possui uma limpeza manual em contra-corrente, bem como um controlo cronométrico. Este filtro possui uma eficiência elevada de filtração, possibilitando a remoção dos sedimentos, sem que atinja a saturação do filtro.



**Figura D.5.** Ilustração representativa do filtro de carvão activado apontado.

A empresa enumerou as seguintes características do equipamento:

- in/out: 1 ½";
- comando: manual;
- dimensões (altura x diâmetro), mm: 2400 x 550;
- caudal: 5 m<sup>3</sup>/h.

- **Separador óleo – água**

O dimensionamento deste equipamento foi levado a cabo pela empresa *Iberair*, tendo por base o modelo dos compressores e as suas potências, bem como o período de funcionamento dos compressores e a quantidade de óleo na água. A **Figura D.6** ilustra o separador de óleo-água apresentado pela *Iberair*, em que este possui no seu interior um saco de carvão activado que retém o óleo.



**Figura D.6.** Ilustração representativa do equipamento de separação.

Este equipamento tem uma capacidade de 1800 m<sup>3</sup>/h e um peso de valor igual a 55 kg, tendo as seguintes dimensões:

- altura: 1160 mm;
- diâmetro: 520 mm;
- largura: 620 mm.

- **Serpentina**

A empresa *Ferreira de Carvalho, Brandão & C.<sup>a</sup>, Lda* fornece a serpentina em aço inoxidável, com um comprimento de 50 m, uma distância entre as espirais de 10 mm, estimando uma altura de cerca de 1,65 m.

- **Válvula termostaticada de três vias com actuador**

A *Etopi*, empresa fornecedora da válvula e do actuador, apresentou tópicos específicos dos equipamentos ilustrados na **Figura D.5**, sendo os seguintes tópicos para a válvula termostaticada:

- válvula de três vias em esfera;
- corpo em latão niquelado;
- pressão máxima de trabalho: 16 bar;
- pressão máxima diferencial: 10 bar;

- gama de temperaturas de operação:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (com solução anticongelante) a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- ISO228 (equivalente à DIN EN ISO 228 e BS EN ISO 228);
- ideal para actuadores eléctricos;
- tamanhos disponíveis: 3 / 4" e 1".

Relativamente ao actuador, este possui as seguintes enunciações técnicas:

- actuador eléctrico bidireccional de válvulas em bola, com dispositivo manual de desbloqueio;
- possui micro-interruptor auxiliar;
- alimentação: 230 V ou 24 V;
- consumo de energia: 4 VA;
- gama de temperatura ambiente:  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- classe de protecção: IP54;
- capacidade da conexão auxiliar: 2 A;
- tempo de operação: 25 ou 50 segundos;
- ângulo de rotação:  $90\text{ }^{\circ}$ ;
- torque de partida: -50" modelo: 10Nm; 25" modelo: 5Nm.



(a)



(b)

**Figura D.7.** Conjunto de aproveitamento energético: (a) válvula termostaticada de três vias; (b) actuador eléctrico.

## Anexo D.4. Velocidades de lavagem dos filtros de areia

Nas tabelas abaixo encontram-se mencionadas as velocidades de lavagem para cada meio filtrante, de acordo com o tamanho efectivo, bem como da expansão do leito filtrante.

**Tabela D.2.** Velocidade de lavagem para expansão da areia, nos diferentes tamanhos efectivos <sup>[42]</sup>.

%	Tamanhos efectivos (mm)					
	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
20	0,20 – 0,40	0,35 – 0,55	0,45 – 0,57	0,55 – 0,60	0,65 – 0,70	0,75 – 0,80
25	0,25 – 0,45	0,38 – 0,63	0,50 – 0,66	0,63 – 0,70	0,70 – 0,80	0,80 – 1,00
30	0,30 – 0,50	0,40 – 0,70	0,55 – 0,75	0,70 – 0,80	0,75 – 0,90	0,85 – 1,05
35	0,33 – 0,55	0,45 – 0,78	0,60 – 0,83	0,75 – 0,90	0,83 – 1,00	0,95 – 1,15
40	0,35 – 0,60	0,50 – 0,85	0,65 – 0,90	0,80 – 1,00	0,90 – 1,10	1,05 – 1,30
45	0,38 – 0,68	0,55 – 0,93	0,70 – 0,98	0,85 – 1,08	0,95 – 1,18	1,10 – 1,38
50	0,40 – 0,75	0,60 – 1,00	0,75 – 1,05	0,90 – 1,15	1,00 – 1,25	1,15 – 1,45
55	0,45 – 0,85	0,65 – 1,10	0,85 – 1,25	0,95 – 1,33	1,05 – 1,40	1,20 – 1,55

**Tabela D.3.** Velocidade de lavagem para expansão da antracite, nos diferentes tamanhos efectivos <sup>[42]</sup>.

%	Tamanhos efectivos (mm)					
	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20
20	0,18	0,25	0,32	0,43	0,52	0,62
25	0,21	0,29	0,37	0,49	0,58	0,67
30	0,24	0,32	0,41	0,54	0,63	0,72
35	0,27	0,36	0,46	0,59	0,68	0,78
40	0,29	0,39	0,50	0,64	0,74	0,84
45	0,31	0,43	0,54	0,69	0,79	0,90
50	0,33	0,46	0,58	0,73	0,84	0,96
55	0,35	0,50	0,63	0,77	0,90	1,00

## Anexo D.5. Dosagem de coagulante

A determinação da dose ideal de coagulante a adicionar no circuito de água é realizada recorrendo a um paralelismo com os ensaios laboratoriais mencionados no **Anexo C.3**.

---

### Volume ideal de coagulante

---

#### *Tanque de Bombagem*

---

#### **Massa de coagulante:**

$$m_{coag.} = c_{coag.} \times V_{coag.} \Leftrightarrow m_{coag.} = 20 \times 6 \times 10^{-3} \Leftrightarrow m_{coag.} = 0,12 \text{ g}$$

#### **Concentração de coagulante no ensaio:**

$$c_{coag.} = \frac{m_{coag.}}{V_{ensaio}} = \frac{0,12 \times 1000}{0,500} = 240 \text{ mg/L}$$

#### **Caudal de coagulante no circuito de água:**

$$\dot{m}_{coag.} = c_{coag.} \times v = \frac{240 \times 5,2}{1000} = 1,25 \text{ kg/h}$$

#### **Observações:**

Nos ensaios laboratoriais foram necessários 6 mL de sulfato de alumínio para um volume de amostra de 0,500 L, para que se visualizasse a formação de flocos.

Em relação ao consumo do volume, este dado permite determinar o tempo necessário para o total consumo do volume do tanque de bombagem, de acordo com o caudal necessário.

#### **Condições operatórias:**

O caudal a retirar do tanque de bombagem corresponde a um valor médio da soma do caudal de entrada no desgaseificador, com o caudal óptimo de alimentação à central de vácuo e à máquina de blocos, tal como é referido no **Capítulo 3**.

## Anexo D.6. Custos de funcionamento futuros

### ➤ Custos de pressurização

A determinação dos custos associados à pressurização dizem respeito às áreas da Sala de bombagem e da Central de Vácuo. Relativamente aos custos inerentes à pressurização na Sala de Bombagem, não existiu alteração, sendo os mesmos custos referidos na **Tabela A.5** de 3.887,80 €, visto as bombas doseadoras não serem incluídas para efeitos de custo devido à sua baixa potência. Em relação à Central de Vácuo, considerou-se que a bomba com balão seria contida neste domínio, pois a sua existência permite a alimentação de água proveniente do tanque de água fria.

Nas **Tabelas D.4** encontram-se evidenciados os custos operativos da Central de Vácuo, correspondendo o custo total de custos de pressurização à soma dos custos das áreas da Sala de Bombagem e Central de Vácuo, de valor igual a 11.639,72 €.

**Tabela D.4.** Custo futuro de pressurização na Central de vácuo.

Equipamento	P instalada (kW)	Tempo de funcionamento (h)	P anual consumida (kWh)	Custo anual (€)
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de vácuo	4	24	21120	1.550,38
Bomba de água	3	12	7920	581,39
Bomba de água	3	12	7920	581,39
Bomba com balão	1	24	5280	387,60
			<b>TOTAL</b>	<b>7.751,92</b>

### ➤ Custos de arrefecimento

Os custos de arrefecimento foram determinados tendo por base os dados fornecidos relativamente à Central de água de refrigeração, não alterando o seu valor em relação ao valor actual, sendo este de 6.589,13 €.

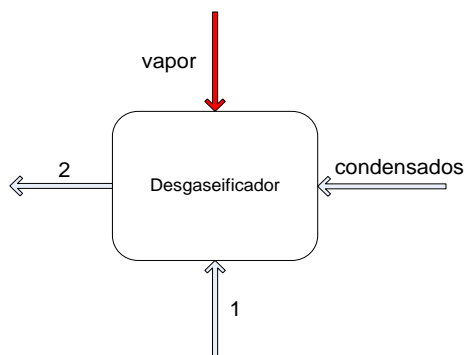
➤ **Custos de aquecimento**

Os custos de aquecimento reportam aos custos inerentes da Sala da Caldeira, sendo o amaciador, e a caldeira. Em relação aos custos associados ao amaciador, não existirá qualquer alteração, mantendo assim os valores apresentados na **Tabela A.8**, correspondendo a 927,78 €.

A caldeira mantém os custos eléctricos, devido a não ocorrer qualquer alteração a nível deste equipamento, vigorando os custos apresentados na **Tabela A.9**, sendo de 2.093,02 €, bem como os custos de manutenção, trabalho ao queimador e produtos químicos, enunciados na **Tabela A.10**, com um custo global de 10.371.14 €. A **Tabela D.5** apresenta todos os custos envolvidos no funcionamento da caldeira.

A inserção da serpentina promove uma redução do consumo de vapor por parte do degaseificador.

**Determinação do custo anual do desgaseificador**



**Cálculo do consumo de vapor actual:**

$$\dot{m}_s = \dot{m} \times \frac{(h_2 - h_1)}{(h_g - h_2)} = 2 \times \frac{(562,289 - 63,4771)}{(2767,96 - 562,289)} = 0,45 \text{ kg/h} \quad (\text{D.4})$$

**Cálculo do consumo de vapor futuro:**

$$\dot{m}_s = \dot{m} \times \frac{(h_2 - h_{1F})}{(h_g - h_2)} = 2 \times \frac{(562,289 - 168,019)}{(2767,96 - 562,289)} = 0,36 \text{ kg/h}$$

**Poupança de vapor anual:**

$$(0,45 - 0,36) \times 220 \times 24 = 475,2 \text{ kg/h} = 0,48 \text{ ton/h}$$

Sabendo que 1 m<sup>3</sup> de água corresponde à produção de uma tonelada de vapor, vem que 0,48 ton/h corresponde a 0,48 m<sup>3</sup> de água.

O consumo de gás natural no ano de 2009 foi de 961461 m<sup>3</sup>, correspondente a 10560 m<sup>3</sup> de água. Sendo necessário assim cerca de 97,9 m<sup>3</sup> de gás para aquecer 1 m<sup>3</sup> de água.

Assim, são necessários 47 m<sup>3</sup> de gás natural para aquecer 0,48 m<sup>3</sup> de água

$$\begin{aligned} \text{Custo anual} &= \dot{m}_g \times \text{factor de conversão} \times \text{custo de gás} = \\ &= 47 \times 11,85 \times 0,02634 = 14,67 \text{ €} \end{aligned}$$

**Condições operatórias:**

**Corrente 1:**

*Líquido comprimido*

$$\dot{v} = 2,00 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m} = 2,00 \text{ kg/h}$$

$$T = 15^\circ \text{C}$$

$$P = 4,5 \text{ bar}_g$$

$$h_1 = 63,4771 \text{ kJ/kg.K}$$

**Corrente 1 (futuro):**

*Líquido comprimido*

$$\dot{v} = 2,00 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m} = 2,00 \text{ kg/h}$$

$$T = 40^\circ \text{C}$$

$$P = 4,5 \text{ bar}_g$$

$$h_{1F} = 168,019 \text{ kJ/kg.K}$$

**Corrente 2:**

*Líquido saturado*

$$\dot{v} \approx 2 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m} \approx 2 \text{ kg/h}$$

$$T = 105,2^\circ \text{C}$$

$$P = 0,2 \text{ bar}_g$$

$$h_2 = 562,289 \text{ kJ/kg.K}$$

<b>Observações:</b>	<b>Corrente vapor:</b>
<p>A expressão apresentada em <b>(D.4)</b> encontra-se de acordo com informações disponibilizadas no site da SpiraxSarco <sup>[67]</sup>.</p> <p>O estado físico da água foi avaliado de acordo com as propriedades termodinâmicas <sup>[61]</sup>.</p> <p>No cálculo do custo anual multiplicou-se por 220 dias e 24h, correspondendo ao período laboral anual e tempo de funcionamento do equipamento, respectivamente.</p>	<p><i>Vapor saturado</i></p> <p><math>\dot{m}_s = ?</math></p> <p><math>T = 160^\circ C</math></p> <p><math>P = 6,8 bar_g</math></p> <p><math>h_g = 2767,96 kJ / kg.K</math></p>

O consumo de gás natural será a diferença entre o consumo de gás natural no ano de 2009, correspondente a 961461 m<sup>3</sup>, e a poupança de gás a partir da implementação da serpentina, sendo de 47 m<sup>3</sup>.

### Determinação do custo do consumo de gás natural

#### Conversão de m<sup>3</sup> para kWh:

$$m^3 \times \text{factor de conversão} = (961461 - 47) \times 11,85 = 11392756 \text{ Wh}$$

#### Cálculo custo anual:

$$\text{Custo anual} = \text{consumo de gás} \times \text{custo do gás} = 11392756 \times 0,02634 = 300.085,19 \text{ €}$$

**Tabela D.5.** Custos totais do funcionamento da caldeira.

<b>Descrição</b>	<b>Custo anual (€)</b>
Electricidade	2.093,02
Gás	300.085,19
Manutenção à caldeira	605,00
Trabalho ao queimador	90,00
Complex B106	2.789,79
Complex S2000	6.886,35
<b>TOTAL</b>	<b>312.549,35</b>

Os custos totais do aquecimento da água correspondem à soma dos custos inerentes a cada um dos equipamentos pertencentes à Sala da Caldeira, encontrando-se mencionados na **Tabela D.6**.

**Tabela D.6.** Custos globais do aquecimento futuro.

Equipamento	Custo anual (€)
Amaciador	927,78
Caldeira	312.549,35
<b>TOTAL</b>	<b>313.477,13</b>

➤ **Custos de desinfecção, coagulação e arejamento do sistema**

Os custos de arejamento dizem respeito ao funcionamento do electro – agitador, encontrando-se apresentado na **Tabela D.7**. Relativamente ao custo de coagulação, este diz respeito ao consumo de sulfato de alumínio, sendo um custo anual de 6.072,00 €. O sistema de desinfecção deverá injectar uma quantidade de 0,36 a 0,48 L/h, de acordo com a Grundfos <sup>[68]</sup>, para caudais entre 4,5 a 6 m<sup>3</sup>/h, utilizando para efeitos de cálculo o valor de 0,42 L/h. Na **Tabela D.8** encontram-se os custos globais do funcionamento dos processos.

**Tabela D.7.** Custos globais de arejamento.

Equipamento	P instalada (kW)	Tempo de funcionamento (h)	P anual consumida (kWh)	Custo anual (€)
Electro - agitador	0,25	24	1320	96,60
			<b>TOTAL</b>	<b>96,60</b>

## Determinação do custo de pressurização

### *Exemplo de cálculo do custo anual do electro - agitador*

---

#### **Conversão de CV para kW:**

$$CV \times \text{factor de conversão} = 0,33 \times 0,7457 = 0,25 \text{ kWh}$$

#### **Cálculo da $P_{\text{anual consumida}}$ :**

$$P_{\text{anual consumida}} = P_{\text{instalada}} \times \text{tempo de funcionamento} \times 220 = 0,25 \times 24 \times 220 = 1320 \text{ kWh}$$

#### **Cálculo custo anual:**

$$\begin{aligned} \text{Custo anual} &= (P_{\text{anual consumida}} / 2) \times (\text{custo de Inverno} + \text{custo de Verão}) = \\ &= (1320 / 2) \times (0,07225 + 0,07457) = 96,60 \text{ €} \end{aligned}$$

#### **Observações:**

O período laboral anual corresponde a cerca de 220 dias, considerando assim que metade desse período corresponde à estação de Inverno e a outra metade à estação de Verão.

O dado referente à potência do electro-agitador foi obtido a partir das especificações técnicas do equipamento, apresentado no **Anexo D.3**.

---

---

### Determinação do custo de sulfato de alumínio

---

#### **Consumo anual:**

Sabendo que é adicionado um caudal de coagulante de 1,25 kg/h, vem que:

$$1,25 \times 24 \times 220 = 6600 \text{ kg/ano}$$

#### **Cálculo custo anual:**

O custo por 25 kg de coagulante é de 23,00€, sendo que o custo anual corresponde a 6.072,00 €, de acordo com o seguinte cálculo:

$$\frac{6600 \times 23,00}{25} = 6072,00 \text{ €}$$

---

### Determinação do custo de hipoclorito de sódio

---

#### **Consumo anual:**

Sabendo que é adicionado 0,42 L/h de coagulante, vem que:

$$0,42 \times 24 \times 220 = 2.217,6L$$

#### **Cálculo custo anual:**

O custo por L de desinfetante é de 2,08 €, sendo que o custo anual corresponde a 4.612,61 €, de acordo com o seguinte cálculo:

$$2217,6 \times 2,08 = 4612,61 \text{ €}$$

---

**Tabela D.8.** Custos globais de arejamento, coagulação e desinfecção.

<b>Equipamento</b>	<b>Custo anual (€)</b>
Arejamento	96,60
Coagulação	6.072,00
Desinfecção	4.612,61
<b>TOTAL</b>	<b>10.781,21</b>

## **Anexo D.7. Avaliação económica**

A determinação do período de retorno da serpentina foi determinada da seguinte forma:

$$\textit{payback period} = \frac{\textit{Investimento}}{\textit{Poupança}} = \frac{1300}{14,67} = 88,6 \textit{ anos}$$