



Otimização do consumo de água do centro de produção de uma indústria cervejeira

ANA CATARINA MARGARIDO XAVIER

Julho de 2023

Otimização do consumo de água do centro de produção de uma indústria cervejeira



Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Química, área de especialização Energia e Biorrefinaria

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Química

ANA CATARINA MARGARIDO XAVIER

Orientação:

Eng.º António João Ferreira Teixeira

Eng.ª Leonilde Cristina De Pinho Moraes

julho de 2023

Agradecimentos

A realização desta dissertação não seria possível sem o apoio constante que recebi ao longo deste percurso tão importante para mim.

Primeiramente, agradeço ao meu orientador externo, Eng.º João Teixeira, pelo apoio e partilha constante de conhecimento. Por acreditar no meu potencial enquanto engenheira e na importância deste projeto. À minha orientadora interna, Eng.ª Cristina Morais, pelo apoio prestado ao longo deste trabalho. A empatia e interesse que demonstrou foram importantes para a conclusão deste meu ciclo.

Gostaria de dedicar um especial agradecimento ao Super Bock Group que me acolheu ao longo destes meses e onde evoluí muito enquanto profissional. E como uma empresa é feita de pessoas, as que se cruzaram comigo neste caminho foram, sem dúvida, “autênticas”. Ao Nuno Moreira e ao Mário Seabra que me acolheram da melhor forma possível e que, sem se aperceberem, me ensinaram muito. Ao Sérgio Ribeiro e ao Paulo Vilhena que me ajudaram imenso no meu trabalho prático. Sem a vossa disponibilidade este trabalho não ficaria tão rico. À restante malta das Centrais, já que sem a vossa boa disposição este processo teria sido mais difícil.

Aos meus colegas e amigos de estágio, Rafa e Mariana, pela companhia e pelo apoio constante ao longo deste percurso. Partilhar esta experiência convosco enriqueceu-me muito e tornou-a mais fácil.

Às minhas isepinhas, Mariana e Sofia, que me acrescentaram sempre tanto e que fizeram deste longo caminho algo tão bonito! Aos restantes bons amigos que, não fazendo parte do meu percurso académico, fazem sim parte da minha vida.

Aos meus pais, a quem serei eternamente grata por tudo o que me proporcionaram e por acreditarem sempre que sou capaz. Ao meu irmão por toda a ajuda ao longo do meu percurso enquanto estudante. Aos meus avós pelo constante amor e carinho. Ao resto da família que tanto acreditam no meu potencial.

Aos professores que, ao longo da minha vida, contribuíram para o desenvolvimento das competências que acredito que tenho atualmente.

Ao meu João, que foi um grande apoio ao longo desta jornada e que tem o dom de me incentivar a ser sempre a melhor.

Ao ISEP, por me ter ensinado esta arte tão bonita a que chamamos engenharia.

Resumo

Atualmente, a sustentabilidade ambiental é uma responsabilidade a nível global e a indústria tem a necessidade de procurar novas formas de reduzir o seu consumo de água.

A maioria das indústrias de bebidas utiliza sistemas próprios de tratamento e abastecimento de água, tal como é o caso do Super Bock Group. A água provém parte de captações em furos subterrâneos e parte adquirida aos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento. Após os devidos tratamentos que ocorrem na empresa (ETA) surgem seis tipos de água: rede geral, processo, descalcificada, diluição, desmineralizada e industrial.

A presente dissertação teve como objetivos o levantamento do sistema produtivo dos vários tipos de água utilizada, a caracterização do consumo dos diferentes tipos de água, a proposta de melhorias aos sistemas atuais e, por fim, a otimização dos sistemas de tratamento e de consumo nos diferentes utilizadores.

Para atender aos objetivos propostos, realizou-se o balanço mássico à instalação e a caracterização dos consumos de água da empresa em termos de KPI, tendo-se verificado a sua diminuição ao longo dos últimos três anos (3,29 hL/hL para 2020; 3,15 hL/hL para 2021 e 3,04 para 2022 hL/hL). Analisaram-se também algumas iniciativas de melhoria em implementação na empresa e avaliou-se o sistema de tratamento e respetivos desperdícios de água, para averiguar a possibilidade de implementar novas melhorias. Estudou-se a operação dos filtros da ETA e concluiu-se que o volume necessário de água utilizada nas lavagens destes equipamentos corresponde a cerca de 9,7% da água captada.

Tendo em conta a digitalização da indústria, foi também identificada a necessidade de utilizar uma ferramenta que permitisse um acompanhamento dinâmico da evolução dos consumos de água da fábrica. Assim, o *Power BI* apresentou-se como ferramenta crucial para tratar dados de forma poderosa, com uma interface interessante e capaz de ser utilizado de forma transversal na organização.

Apresentam-se também três propostas concretas de melhoria: a primeira consiste no reaproveitamento da água das lavagens dos de uns filtros; a segunda no reaproveitamento da corrente de rejeitados de uma unidade de osmose (impacto no KPI de 0,02 hL/hL); por fim, a instalação de caudalímetros que totalizem o caudal de água captada (impacto no KPI de 0,05 hL/hL).

Palavras-chave: tratamento de água, ETA, otimização, análise de consumos, KPI

Abstract

Nowadays, environmental sustainability is a global responsibility, and so the industry needs to look for new methods to reduce its water consumption.

Most beverage industries use their own water treatment and supply systems, such as the Super Bock Group. The water comes partly from underground wells and partly from the Municipal Water and Sanitation Services. After the proper treatments that occur in the company, six types of water are produced: general, process, decalcified, dilution, demineralized and industrial.

The objectives of this dissertation were to study the production system of the various types of water used, to characterize the consumption of the different types of water, to propose improvements to the current systems and, finally, to optimize the treatment system and consumption.

To meet the proposed objectives, the mass balance of the installation was carried out, as well as the characterization of the company's water consumption in terms of KPI, having been verified its decrease over the last three years (3,29 hL/hL for 2020; 3,15 hL/hL for 2021 and 3,04 for 2022 hL/hL). It was also analyzed some improvement initiatives being implemented in the company and evaluated the treatment system, and respective water waste, to investigate the possibility of implementing further improvements. The operation of the WTP filters was studied and it was concluded that the necessary volume of water used in the washing of this equipment corresponds to about 10% of the water collected.

Taking into account the digitalization of the industry, it was also identified the need to create a tool that would allow dynamic monitoring of the evolution of water consumption in the plant. Thus, Power BI presented itself as a crucial tool to handle data powerfully, with an interesting interface and capable of being used transversally in the organization.

Three concrete proposals for improvement are also presented: the first consists of the reuse of water from the washing of some filters; the second consists of the reject stream reuse from an osmosis unit (impact on the KPI of 0,02 hL/hL); finally, the installation of flow meters to totalize the flow of captured water (impact on the KPI of 0,05 hL/hL).

Keywords: Water treatment, WTP, Optimization, Consumption analysis, KPI

Índice Geral

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e objetivos.....	1
1.2. Descrição da empresa	1
1.3. Estrutura e organização da dissertação	2
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1. A história da cerveja	3
2.2. Produção de cerveja	4
2.2.1. Maltagem.....	5
2.2.2. Unidade de Fabrico	6
2.2.3. Unidade da Adega	7
2.2.4. Enchimento.....	7
2.3. Água.....	8
2.3.1. Gestão eficiente de Água.....	9
2.3.2. Estratégias de redução de consumos de Água.....	11
2.4. Tecnologias de tratamento de Água.....	12
2.4.1. Oxidação.....	13
2.4.2. Coagulação/Floculação	14
2.4.3. Decantação	14
2.4.4. Filtração.....	14
2.4.5. Desinfecção.....	15
2.4.6. Adsorção.....	15
2.4.7. Separação por membranas.....	15
2.5. Água e geração de resíduos na indústria cervejeira.....	18
2.6. Tratamento de águas residuais na indústria cervejeira	20
2.6.1. Tratamentos físicos	21

2.6.2.	Tratamentos químicos	21
2.6.3.	Tratamentos biológicos	21
2.7.	Redução do consumo de água na indústria cervejeira	22
3.	O caso Super Bock Group	25
3.1.	Água da rede geral (RG)	27
3.2.	Água do processo (AP)	27
3.2.1.	Arejamento e Armazenagem (Cisternas 11 e 12).....	28
3.2.2.	Ozonização	28
3.2.3.	Contacto (Cisterna 1)	28
3.2.4.	Filtros OFSYs (1, 2 e 3)	28
3.2.5.	Filtros de Carvão (UR120-1 e UR120-2).....	30
3.2.6.	Armazenagem/Cloragem (Cisternas 4 e 5)	31
3.2.7.	Filtros de Carvão (UR100-1 e UR100-2).....	31
3.3.	Água descalcificada	33
3.3.1.	Descalcificação e Filtro de Carvão (UR84)	33
3.4.	Água de diluição (AD).....	34
3.4.1.	Osmose Inversa (1, 3.1, 3.2, 4 e 6).....	35
3.4.2.	Armazenagem/Cloragem (Cisterna 9).....	35
3.4.3.	Filtros de Carvão (UR72-1 e UR72-2).....	35
3.4.4.	Filtros Polidores	37
3.5.	Água desmineralizada	37
3.5.1.	Osmose Inversa (2).....	37
3.5.2.	Armazenagem/Correção do pH (Cisterna 10).....	37
3.6.	Água industrial (AI).....	38
3.6.1.	Armazenagem (Cisterna 8A).....	38
3.6.2.	Filtros OFSYs (4)	38
3.6.3.	Ozonização	39

3.6.4.	Armazenagem/Cloragem (Cisterna 8B)	40
3.6.5.	Filtros Multimédia (UF72-1 e UF72-2)	40
3.6.6.	Ultrafiltração	40
3.6.7.	Armazenagem (Cisterna 7).....	41
3.6.8.	Filtros de Carvão (UR72-1 e UR72-2).....	41
3.6.9.	Osmose Inversa (5 e 7).....	41
3.6.10.	Armazenagem/Cloragem (Cisterna 6)	42
3.7.	ETAR	42
3.7.1.	Tratamento preliminar	43
3.7.2.	Tratamento primário.....	44
3.7.3.	Tratamento biológico	45
3.7.4.	Tratamento das lamas.....	46
4.	Metodologia	49
4.1.	Balanço mássico à instalação	49
4.2.	<i>Benchmarking</i> e caracterização de consumos	52
4.3.	Iniciativas identificadas	53
4.4.	Tratamento da água e reaproveitamentos	55
4.5.	Monitorização e divulgação de consumos	59
4.6.	Modelos de previsão de consumos	60
5.	Resultados e discussão	65
5.1.	Determinação do balanço mássico à instalação	65
5.2.	Análise <i>benchmarking</i> e caracterização do consumo de água	67
5.3.	Análise das iniciativas identificadas	71
5.4.	Análise do tratamento da água e reaproveitamentos	76
5.5.	<i>Power BI</i> : monitorização e divulgação de consumos	79
5.6.	<i>Power BI</i> : modelos de previsão de consumos	84
6.	Propostas de melhoria	89

6.1. Lavagem filtros OFSYs 1, 2 e 3	89
6.2. Rejeitados Osmose 2.....	92
6.3. Captações	94
7. Conclusões e sugestões para trabalho futuro.....	99
Referências bibliográficas	101
Anexos	105
Anexo A – Iniciativas identificadas.....	105
A.1. Utilização de água industrial na rega	105
A.2. Utilização de água industrial na ETAR.....	106
Anexo B – Tratamento da água e reaproveitamentos	109
B.1. Filtros OFSYs (1, 2 e 3)	109
B.2. Filtros de Carvão (UR120-1 e UR120-2).....	111
B.3. Filtros de Carvão (UR100-1 e UR100-2).....	114
B.4. Descalcificadores e Filtro de Carvão (UR84)	117
B.5. Filtros de Carvão (UR72-1 e UR72-2).....	121
B.6. Cisterna decantadora	124
Anexo C – Monitorização e previsão de consumos.....	127
C.1. Análise de consumos.....	128
C.2. Previsão de consumos	137
Anexo D – Propostas de melhoria	150
D.1. Lavagens filtros OFSYs 1, 2 e 3	150
D.2. Rejeitados Osmose 2.....	155
D.3. Captações	159

Índice de Figuras

Figura 2. 1 - Esquema do processo de produção da cerveja e respetivo enchimento (Czech Brewery System, 2023).	5
Figura 2. 2 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2023).	10
Figura 2. 3 - Faixas de remoção de solutos em diferentes processos de separação (Braceiro, 2014).	16
Figura 3. 1 - Fluxograma geral dos processos de tratamento da água na ETA do CPLB do Super Bock Group.	26
Figura 3. 2 - Esquema representativo do sistema de Omnifiltração (OFSYs 1, 2 e 3) ..	29
Figura 3. 3 - Esquema representativo dos Filtros de Carvão UR120.	30
Figura 3. 4 - Esquema representativo dos Filtros de Carvão UR100.	32
Figura 3. 5 - Esquema representativo dos Descalcificadores e do Filtro de Carvão UR84.	33
Figura 3. 6 - Esquema representativo dos Filtros de Carvão UR72.	36
Figura 3. 7 - Fluxograma geral do processo de tratamento da água residual na ETAR do CPLB do Super Bock Group.	47
Figura 4. 1 - Fluxograma genérico da Estação de Tratamento de Água do SBG.....	51
Figura 4. 2 - Iniciativas identificadas pelo SBG no âmbito do projeto Waste Less Water.	54
Figura 5. 1 - Balanço mássico global à ETA para os anos de 2019, 2020, 2021 e 2022.	66
Figura 5. 2 - Consumos anuais totais, expressos em KPI, para 2019, 2020, 2021 e 2022 e objetivos para 2023 e 2024.	68
Figura 5. 3 - Comparação dos consumos anuais totais, expressos em KPI, para 2019, 2020, 2021 e 2022, entre várias empresas da indústria cervejeira.	68
Figura 5. 4 - Fração média dos consumos anuais do SBG, expressos em %, e discriminados por tipo de água, para 2019, 2020, 2021 e 2022.	69
Figura 5. 5 - Consumos anuais, expressos em KPI, totais e por área para 2019, 2020, 2021 e 2022.	70
Figura 5. 6 - Consumo total de água industrial em função da quantidade de água SMAS adicionada, diariamente, ao longo de 2022.	72
Figura 5. 7 - Fração do número de dias, para 2022, em que ocorreu adição de água SMAS ao sistema de tratamento de AI pelo consumo ser superior à capacidade ou devido a picos de consumo.	73

Figura 5. 8 - Fotografia do coletor de distribuição de água da cisterna 6 antes da intervenção (a) e depois da intervenção (b).....	74
Figura 5. 9 - Fotografia da tubagem de abastecimento de água industrial à logística antes (a) e depois (b) da intervenção.	75
Figura 5. 10 - Fração média (%) do volume transbordado pela cisterna decantadora (m ³) e do volume não transbordado (m ³), de 05/05 a 29/05.....	79
Figura 5. 11 - Relatório mensal relativo à água captada para 2022.	80
Figura 5. 12 - Relatório mensal, de janeiro a maio, relativo à água captada em 2022 e em 2023.	81
Figura 5. 13 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2022.....	82
Figura 5. 14 - Relatório mensal, de janeiro a maio, em 2022 e em 2023, relativo à evolução do KPI global (a) e da fração do KPI não atribuído (b) comparativamente com a evolução do volume captado, do volume de produção e do volume representativo da quebra do sistema.	83
Figura 5. 15 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2022.....	84
Figura 5. 16 - Modelo de previsão do consumo de água global.....	85
Figura 5. 17 - Relatório semanal relativo ao consumo global real e previsto, até à semana 22 de 2023.	86
Figura 5. 18 - Modelo de previsão do consumo de água industrial.....	87
Figura 5. 19 - Relatório semanal relativo ao consumo de água industrial real e previsto, até à semana 22 de 2023.....	87
Figura 6. 1 - Fotografia dos OFSYs 1, 2 e 3 e respetivas tubagens que direcionam as lavagens para a cisterna decantadora.....	89
Figura 6. 2 - Evolução da concentração de ferro em mg/L (a), e da turvação em NTU (b), durante a retrolavagem 2 e a lavagem final do OFSY 2 (ensaio dia 03/05/2023).....	90
Figura 6. 3 - Fotografia da osmose inversa 2 e respetiva tubagem de envio dos rejeitados para a cisterna 8A.	93
Figura 6. 4 - Fotografia das tubagens de envio dos rejeitados das OI 1, 3.1, 3.2, 4 e 6 para a cisterna 2.....	93
Figura 6. 5 - Contador avariado instalado na tubagem que direciona água do coletor F1 para a torre de arejamento.	96
Figura 6. 6 - Tanque 1 e tubagem que direciona a água das captações F2 para a torre de arejamento. 97	

Figura 6. 7 - Local de instalação do novo contador: tubagem que direciona a água das captações F2 para a torre de arejamento.....	97
Figura A. 1 - Fotografia do coletor de distribuição de água da cisterna 6 depois da intervenção e indicação do suporte que é necessário prolongar.....	105
Figura A. 2 - Bomba de distribuição de água para a rega e indicação das alterações futuras.	106
Figura A. 3 - Fotografia da futura ligação que se prevê fazer para permitir o abastecimento de AI à ETAR.....	107
Figura A. 4 - Abastecimento de água industrial à ETAR; tubagem (A) já existente; tubagens (B) e (C) a construir.....	107
Figura A. 5 - Representação da interseção da tubagem inutilizada (A) com a tubagem que alimenta atualmente água de rede geral à ETAR.	108
Figura B. 1 - Caudal (m^3/h) ao longo do ensaio de lavagem ao OFSY 3, no dia 30/03/2023.	109
Figura B. 2 - Caudais de lavagem do OFSY 3 (m^3/h), para cada minuto, entre 28/01 e 24/02.	110
Figura B. 3 - Caudal (m^3/h) ao longo do ensaio de lavagem ao FC UR120-1, no dia 21/03/2023.....	112
Figura B. 4 - Caudais médios (m^3/h) de funcionamento dos FC UR120, para cada hora, de 28/01 a 24/02.	113
Figura B. 5 - Variação de nível das cisternas 4 e 5 (m^3) ao longo do ensaio de lavagem do FC UR100-2, no dia 22/03/2023.	114
Figura B. 6 - Caudais médios (m^3/h) de funcionamento dos FC UR100, para cada hora, de 27/01 a 27/02.	116
Figura B. 7 - Caudal (m^3/h) ao longo do ensaio de lavagem ao Descalcificador 1, no dia 30/03/2023.....	117
Figura B. 8 - Caudal (m^3/h) ao longo do ensaio de lavagem ao FC UR84, no dia 22/03/2023.....	118
Figura B. 9 - Caudais médios (m^3/h) de funcionamento dos Descalcificadores e do FC UR84, para cada dia, de 28/01 a 27/02.....	119
Figura B. 10 - Curva característica da bomba M20.1 no ponto de funcionamento ao longo do ensaio de lavagem do FC UR72-1.....	121
Figura B. 11 - Caudais médios (m^3/h) de funcionamento dos FC UR72, para cada dia, de 22/02 a 22/03.	122

Figura B. 12 - Fração (%) do volume de lavagem dos equipamentos considerados direcionados para a decantadora.....	123
Figura B. 13 - Fotografia da cisterna decantadora da ETA do SBG.	124
Figura B. 14 - Fotografia da cisterna decantadora a transbordar para esgoto por falta de capacidade.	124
Figura C. 1 - Página de capa do documento criado em Power BI.	128
Figura C. 2 - Relatório mensal relativo à água captada para 2019.....	128
Figura C. 3 - Relatório mensal relativo à água captada para 2020.....	129
Figura C. 4 - Relatório mensal relativo à água captada para 2021.....	129
Figura C. 5 - Evolução do volume de água captada, de janeiro de 2019 a maio de 2023, comparativamente com o objetivo estabelecido.....	130
Figura C. 6 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2020.	131
Figura C. 7 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2021.	131
Figura C. 8 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2023 (até maio).	132
Figura C. 9 - Relatório mensal relativo ao KPI do Fabrico para 2022.	132
Figura C. 10 - Relatório mensal relativo ao KPI da Adega para 2022.	133
Figura C. 11 - Relatório mensal relativo ao KPI das Centrais para 2022.....	133
Figura C. 12 - Relatório mensal relativo ao KPI do Enchimento para 2022.	134
Figura C. 13 - Relatório mensal relativo às quebras para 2022.....	134
Figura C. 14 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2019.	135
Figura C. 15 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2020.	135
Figura C. 16 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2021.	136
Figura C. 17 - Relatório mensal relativo à água industrial até maio de 2023.	136
Figura C. 18 - Modelo de previsão do consumo de água na área do Fabrico.....	138
Figura C. 19 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto na área do Fabrico, até à semana 22 de 2023.	138
Figura C. 20 - Modelo de previsão do consumo de água na área da Adega.....	140
Figura C. 21 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto na área da Adega, até à semana 22 de 2023.	140
Figura C. 22 - Modelo de previsão do consumo de água na área do Enchimento.	142
Figura C. 23 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto na área do Enchimento, até à semana 22 de 2023.....	143
Figura C. 24 - Modelo de previsão do consumo de água SMAS.	146

Figura C. 25 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto de água SMAS, até à semana 22 de 2023.....	147
Figura D. 1 - Fotografia dos OFSYs 1, 2 e 3 e indicação esquemática das alterações para novo reaproveitamento das lavagens.....	150
Figura D. 2 - Indicação esquemática da tubagem de reaproveitamento da água das lavagens dos OFSYs 1, 2 e 3 para a cisterna 8A (visão exterior da ETA).	151
Figura D. 3 - Amostras da água das fases de lavagem (início e fim) ao OFSY 2, no dia 12/04/2023.	152
Figura D. 4 - Amostras recolhidas no dia 03/05/2023 da água da retrolavagem 2 (a) e da lavagem final (b) do OFSY 2.	153
Figura D. 5 - Fotografia da tubagem de rejeitados da OI 2 e respetiva ilustração da alteração sugerida.	156
Figura D. 7 - Fotografia do direcionamento dos rejeitados para a cisterna 2.....	156
Figura D. 6 - Fotografia da disposição das tubagens dos rejeitados das OI 1, 3.1, 3.2, 4 e 6.	156
Figura D. 8 - Caudal médio diário, em m ³ /h, do permeado produzido pela osmose inversa 2 ao longo de um mês (08/02 a 08/03).	158

Índice de Tabelas

Tabela 2. 1 - Alguns parâmetros de qualidade da água para consumo humano estabelecidos pelo Decreto-Lei nº306/2007 de 27 de agosto (DRE, 2007).....	12
Tabela 2. 2 - Características das águas residuais da indústria da cerveja (Olajire, 2020).	19
Tabela 3. 1 - Parâmetros relativos às fases de operação dos OFSYs 1, 2 e 3.....	29
Tabela 3. 2 - Parâmetros relativos às fases de operação dos OFSYs 1, 2 e 3 (continuação).	30
Tabela 3. 3 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Filtros de Carvão UR120.	31
Tabela 3. 4 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Filtros de Carvão UR100.	32
Tabela 3. 5 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Descalcificadores e do Filtro de Carvão UR84.	34
Tabela 3. 6 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Filtros de Carvão UR72...	36
Tabela 3. 7 - Parâmetros relativos ao projeto da ETAR para o afluente bruto (Veolia, 2020).....	43
Tabela 3. 8 - Condições de descarga do efluente final da ETAR.....	43
Tabela 4. 1 - Resumo das fases de lavagem e respetivo destino da água residual dos filtros em estudo.....	56
Tabela 4. 2 - Variáveis independentes e dependentes consideradas para os modelos de previsão: Fabrico, Adega e Enchimento.....	62
Tabela 4. 3 - Demonstração dos valores médios mensais utilizados para o modelo de previsão de consumo global.	63
Tabela 4. 4 - Variáveis independente e dependente consideradas para o modelo de previsão para a água SMAS.	63
Tabela 5. 1 - Entradas e saídas consideradas para o balanço de massa global à ETA. ..	66
Tabela 5. 2 - Condições de funcionamento atuais da instalação de produção de água industrial.....	71
Tabela 5. 3 - Capacidade de produção do sistema de tratamento de água industrial (projeto inicial e nova pretendida) e respetivo impacto da medida no KPI.	73
Tabela 5. 4 - Custo da ampliação do coletor de distribuição de água da cisterna 6 e respetivas estimativas do potencial de poupança e impacto no KPI.	75

Tabela 5. 5 - Custo da instalação de duas válvulas na tubagem de água industrial e respetivas estimativas do potencial de poupança e impacto no KPI.	76
Tabela 5. 6 - Resumo das fases de lavagem, respetivo destino da água residual e estimativas mensal e anual para os volumes de lavagem dos filtros em estudo.....	77
Tabela 6. 1 - Resumo dos resultados da análise ao potencial de recuperação e respetivo payback.....	91
Tabela 6. 2 - Resumo dos resultados da análise ao potencial de poupança com a proposta de alteração da tubagem dos rejeitados da OI 2.	94
Tabela 6. 3 - Resumo dos resultados da análise de contabilização da discrepância entre a quantidade de água que entra efetivamente em stock e aquela que se contabiliza como captada.	95
Tabela 6. 4 - Estimativas relativamente à discrepância entre a quantidade de água que entra efetivamente em stock e aquela que se contabiliza como captada.	95
Tabela 6. 5 - Custo associado aos caudalímetros a serem instalados e respetiva estimativa do impacto no KPI.....	97
Tabela 6. 6 - Estimativas relativamente à água que é alimentada à R.I.A.	98
Tabela B. 1 - Caudais, volumes e tempo das várias etapas de lavagem, obtidos no ensaio realizado ao OFSY 3, no dia 30/03/2023.	110
Tabela B. 2 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os OFSYs 1,2 e 3 e respetivo volume total gasto (m ³).	111
Tabela B. 3 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao FC UR120-1, no dia 21/03/2023.....	112
Tabela B. 4 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR120-1 e 2 e respetivo volume total gasto (m ³).	114
Tabela B. 5 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao FC UR100-2, no dia 22/03/2023.	115
Tabela B. 6 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR100-1 e 2 e respetivo volume total gasto (m ³).	116
Tabela B. 7 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao Descalcificador 1, no dia 30/03/2023, e ao FC UR84, no dia 22/03/2023.	118
Tabela B. 8 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os Descalcificadores 1 e 2 e respetivo volume total gasto (m ³).	120
Tabela B. 9 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para o FC UR84 e respetivo volume total gasto (m ³).	120

Tabela B. 10 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao FC UR72-1, no dia 21/03/2023.....	122
Tabela B. 11 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR72-1 e 2 e respetivo volume total gasto (m ³).	123
Tabela B. 12 - Registo manual da lavagem dos filtros e cisterna decantadora ao longo de 25 dias (05/05 a 29/05).	125
Tabela B. 13 - Registo manual da lavagem dos filtros e cisterna decantadora ao longo de 25 dias (05/05 a 29/05) (continuação).	126
Tabela C. 1 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos na área do Fabrico.....	137
Tabela C. 2 - Coeficientes da equação de regressão linear para a área do Fabrico.	137
Tabela C. 3 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos na área da Adega.....	139
Tabela C. 4 - Coeficientes da equação de regressão linear para a área da Adega.	139
Tabela C. 5 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos na área do Enchimento.	141
Tabela C. 6 - Coeficientes da equação de regressão linear para a área do Enchimento.	141
Tabela C. 7 - Coeficientes das equações de regressão linear para as áreas do Fabrico, Adega e Enchimento.....	144
Tabela C. 8 - Somatório mensal dos valores médios para as áreas: Centrais, Mini fábrica, Edifícios e Rega.....	144
Tabela C. 9 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos de água SMAS.	145
Tabela C. 10 - Coeficientes da equação de regressão linear para a água SMAS.	146
Tabela C. 11 - Coeficientes das equações de regressão linear para as áreas do Fabrico, Adega e Enchimento, relativas ao modelo de previsão global sem AI.	148
Tabela C. 12 - Somatório mensal dos valores médios para as áreas: Centrais (sem AI), Mini fábrica, Edifícios e Rega.....	148
Tabela D. 1 - Parâmetros de referência para a água da cisterna 8A.	151
Tabela D. 2 - Parâmetros analisados às amostras da água das fases de lavagem (início e fim) ao OFSY 2, no dia 12/04/2023.	152
Tabela D. 3 - Concentração de ferro, em mg/L, e turvação, em NTU, ao longo da retrolavagem 2 e da lavagem final do OFSY 2 (ensaio dia 03/05/2023).	153

Tabela D. 4 - Estimativa do volume mensal de água reaproveitado.	154
Tabela D. 5 - Resumo do orçamento da proposta para a obra de alteração do reaproveitamento das lavagens dos OFSYs para a Cisterna 8A.....	154
Tabela D. 6 - Características do permeado e do rejeitado das osmoses, baseadas em valores reais médios para 2022.....	155
Tabela D. 7 - Detalhes da proposta para a obra de alteração da tubagem dos rejeitados da OI 2.	157
Tabela D. 8 - Volume de rejeitado entre 08/02 e 08/03 e respetiva estimativa do volume anual, assim como estimativas da potencial poupança com a proposta apresentada. ..	159
Tabela D. 9 - Impacto da medida proposta no KPI, tendo por base os valores anuais de 2022.	159
Tabela D. 10 - Registo das contagens, em m ³ , dos furos a captar aquando da realização do ensaio.	160
Tabela D. 11 - Registo das contagens, em m ³ , dos níveis das cisternas 11 e 12 durante a realização do ensaio.....	160
Tabela D. 12 - Informações relativas à bombagem de água da R.I.A.	161
Tabela D. 13 - Informações dos caudalímetros a instalar.....	161

Nomenclatura

Siglas, acrónimos e abreviaturas

AD - Água de diluição

AI - Água industrial

AP - Água do processo

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CBO - Carência Bioquímica de Oxigénio

CIP - *Cleaning in Place*

COT – Carbono Orgânico Total

CPLB - Centro de Produção de Leça do Balio

CQO - Carência Química de Oxigénio

DAX - *Data Analysis Expressions*

ETA - Estação de Tratamento de Água

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais

ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto

FC - Filtro de Carvão

KPI - *Key Performance Indicator*

MF- Microfiltração

MTD - Melhores Técnicas Disponíveis

NF - Nanofiltração

NT - Azoto total

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OI - Osmose Inversa

ONU - Organização das Nações Unidas

PCIP - Prevenção e Controlo Integrados da Poluição

PNUEA - Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água

PT - Fósforo total

RG - Água da rede geral

R.I.A. - Rede de Incêndio Armada

SBG - Super Bock Group

SCADA - *Supervisory control and data acquisition*

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

SMAS - Serviços Municipalizados de Água e Saneamento

SST - Sólidos Suspensos Totais

SS - Sólidos Suspensos

TOC - Carbono Orgânico Total

UF - Ultrafiltração

VLE - Valores Limite de Emissão

Símbolos

b_0 – ordenada na origem

b_1 – declive da reta

$\frac{dm}{dt}$ – acumulação da massa no sistema por unidade de tempo

$\frac{dV}{dt}$ – acumulação do volume no sistema por unidade de tempo

E_n – erro aleatório associado a Y_n

$\dot{m}_e$ – caudal mássico à entrada do sistema

$\dot{m}_s$ – caudal mássico à saída do sistema

Q - Caudal volumétrico

Q_{AD} – caudal volumétrico da água de diluição

Q_{AP} – caudal volumétrico da água de processo

$Q_{Cap.}$ – caudal volumétrico da água das captações

$Q_{Descal.}$ – caudal volumétrico da água descalcificada

$Q_{Desmin.}$ – caudal volumétrico da água desmineralizada

Q_e – caudal volumétrico à entrada do sistema

Q_{RG} – caudal volumétrico da água de rede geral

Q_s – caudal volumétrico à saída do sistema

Q_{SMAS} – caudal volumétrico da água dos SMAS

t - tempo

V - Volume

x – variável independente

(X_n, Y_n) – n -ésima observação de (X, Y) , $(n=1, \dots, N)$

y – variável dependente

Símbolos gregos

β – parâmetro fixo a estimar

ΔP - Diferença de pressões

1. Introdução

Esta dissertação foi realizada no âmbito da Unidade Curricular de Dissertação/Estágio presente no Mestrado em Engenharia Química, área de especialização em Energia e Biorrefinaria, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Neste capítulo apresenta-se o tema da presente dissertação, com a elaboração de um breve enquadramento e a enumeração dos principais objetivos propostos. Além disso, faz-se uma descrição da empresa em questão e apresenta-se também a estrutura e organização do documento.

1.1. Enquadramento e objetivos

Esta dissertação foi realizada em contexto de estágio em ambiente industrial na empresa de bebidas Super Bock Group (SBG), no Departamento de Manutenção e Utilidades, cujo tema foi a otimização do consumo de água do Centro de Produção de Leça do Balio (CPLB).

Deste modo, os principais objetivos propostos foram o levantamento de todo o sistema produtivo dos vários tipos de água utilizada, a caracterização do consumo dos diferentes tipos de água, a proposta de melhorias aos sistemas atuais e, por fim, a otimização dos sistemas de tratamento e de consumo nos diferentes utilizadores.

1.2. Descrição da empresa

O Super Bock Group é uma empresa portuguesa sediada em Leça do Balio, cuja atividade principal assenta no negócio das cervejas e das águas engarrafadas. Trata-se da maior empresa portuguesa de bebidas, comercializando também refrigerantes, sidras e vinhos. Ainda, está associada à produção e comercialização de malte e possui ativos na área do turismo, nomeadamente os Parques Lúdico-Termas de Vidago e Pedras Salgadas.

A história da empresa começou em 1890 quando se formou a CUFP – Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes – a qual surgiu através da união de sete fábricas. Em 1975 ocorreu a nacionalização da CUFP e, mais tarde, em 1977 o Estado reestruturou o setor, surgindo assim a Unicer – União Cervejeira S.A.. Depois, em 1990, deu-se a completa privatização da empresa e a marca Super Bock

expandiu e tornou-se cada vez mais popular. Em 1992, a Unicer começou a produzir e comercializar a cerveja Carlsberg e no ano de 2000 a empresa passou a denominar-se Unicer – Bebidas de Portugal S.A.. Mais tarde, em 2012, deu-se a concentração de toda a produção de cerveja em Leça do Balio, com a remodelação da fábrica. Por fim, em 2017, a empresa passa a ser designada por Super Bock Group (Super Bock Group, 2020a).

Relativamente ao centro de produção de Leça do Balio, existem cinco áreas distintas: Fabrico, Adega, Enchimento, Logística, Utilidades e Mini Fábrica, onde ocorre a produção da cerveja artesanal, conhecida como Super Bock Seleção 1927. A presente dissertação focar-se-á na área das Utilidades, nomeadamente no que diz respeito à Estação de Tratamento de Água (ETA) e à Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

1.3. Estrutura e organização da dissertação

A presente dissertação foi estruturada em sete capítulos.

O primeiro capítulo é a introdução, onde se faz o enquadramento e a descrição dos objetivos do estágio, bem como uma breve apresentação da empresa e, por fim, o modo como a dissertação está organizada.

No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica inerente ao trabalho desenvolvido, nomeadamente sobre a história e o processo de produção da cerveja, o conceito de água e a sua gestão eficiente, bem como estratégias industriais de redução do seu consumo e exploram-se as tecnologias utilizadas no processo de tratamento de água. Aborda-se também a importância da água no caso concreto da indústria cervejeira, como se geram os respetivos resíduos, os processos comuns de tratamento das águas residuais destas indústrias e, por fim, as medidas de redução de consumo que podem ser adotadas.

No terceiro capítulo apresenta-se o caso do Super Bock Group e, assim sendo, faz-se a descrição dos processos de tratamento de água que ocorrem na empresa.

No quarto capítulo é feita a abordagem das metodologias que serviram de base para o cumprimento dos objetivos da dissertação.

O quinto capítulo dedica-se à apresentação dos resultados obtidos ao longo da dissertação, bem como à respetiva discussão.

No sexto capítulo apresentam-se e discutem-se as propostas de melhoria sugeridas.

Finalmente, no sétimo capítulo abordam-se as várias conclusões do trabalho desenvolvido, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

Neste capítulo encontra-se uma revisão bibliográfica relativamente ao tema proposto. Deste modo, em primeiro lugar apresenta-se a história da cerveja e faz-se uma explicação do processo de produção da cerveja, de acordo com as áreas em que este se divide na empresa em questão, já referidas no capítulo 1, nomeadamente o Fabrico, a Adega e o Enchimento. De seguida, introduz-se o conceito de água como um recurso limitado, abordando-se a importância da sua gestão eficiente, bem como algumas estratégias industriais de redução do seu consumo e apresentam-se, ainda, várias tecnologias comumente utilizadas no processo de tratamento da água. Depois, aborda-se concretamente no caso da indústria cervejeira a importância da água e também como se geram os respetivos resíduos. Referem-se os processos comuns de tratamento das águas residuais nestas indústrias e, por fim, as medidas de redução de consumo que podem ser adotadas pelas mesmas.

2.1. A história da cerveja

A cerveja é uma bebida obtida a partir da fermentação alcoólica, realizada por leveduras do género *Saccharomyces*, de um mosto preparado a partir de malte de cereais, sendo, portanto, constituída por água, malte de cevada, cereais não maltados e lúpulo.

A história da cerveja abrange diferentes épocas da história da humanidade, percorrendo então diferentes eras da civilização.

A origem da cerveja remonta ao ano de 6000 a.C., quando se criou pela primeira vez esta bebida por obra do acaso. Julga-se que, por descuido, foram deixados cereais ao ar livre sob o efeito das condições atmosféricas. Assim, com a chuva, os grãos ficaram encharcados e, posteriormente, graças à ação do calor, deu-se início à fermentação da mistura, o que originou uma bebida com um aroma peculiar.

No Antigo Egito, a cerveja apresentava uma grande importância social, já que servia como forma de pagamento aos trabalhadores. Assim, facilmente se conclui que na sociedade egípcia os cervejeiros eram pessoas muito valorizadas.

Mais tarde, os Romanos herdaram o conhecimento da cerveja dos Egípcios e tiveram um papel importante na difusão do mesmo ao transmiti-lo aos territórios conquistados.

Tornou-se assim uma bebida muito popular, já que era possível produzir diferentes cervejas de acordo com as combinações de ingredientes.

Na altura da Idade Média, o monopólio da produção da cerveja pertencia aos mosteiros, havendo um aperfeiçoamento das técnicas de produção, bem como das receitas de cerveja. Foi nesta altura que se implementou a adição do lúpulo que, até então, era substituído por uma mistura de ervas.

Foi em 1516 que se implementou a famosa Lei da Pureza Alemã - *Reinheitsgebot* - considerada a primeira lei de segurança alimentar da história. Esta padronizou a produção de cerveja, estabelecendo como ingredientes permitidos a água, a cevada, o malte e o lúpulo (Carvalho, 2018).

Com a Revolução Industrial, a produção começa a fazer-se em grande escala, de tal modo que o consumo se expande. Mais tarde, com as descobertas de Louis Pasteur, aperfeiçoa-se o processo de produção de cerveja, isto é, inicia-se o uso da técnica de pasteurização que permite dar à cerveja uma maior durabilidade, tornando possível o seu armazenamento e transporte.

Por fim, foi no século XIX que o fabrico da bebida foi impulsionado, através da resolução de dois problemas fundamentais. O primeiro referente ao isolamento das leveduras responsáveis pela fermentação, graças ao Professor Emil Chr. Hansen do laboratório da Carlsberg, e o segundo relativo à necessidade de manutenção de temperaturas baixas, durante todo o ano, nos tanques de fermentação (Super Bock Group, 2020b).

2.2. Produção de cerveja

A produção da cerveja, representada na Figura 2.1, tem por base um processo biotecnológico e pode ser sucintamente dividido nas etapas de maltagem, produção e processamento do mosto, fermentação, maturação e acabamento da cerveja e, por fim, o enchimento. No centro de produção de Leça do Balio só não é realizada a etapa de maltagem (Rocha, 2017).

Ainda relativamente à empresa em questão, o processo pode ser dividido em três grandes áreas: o Fabrico, a Adega e o Enchimento. Na unidade de Fabrico ocorre a produção do mosto, o que inclui etapas como moagem, brassagem, filtração, ebulição e clarificação. Na Adega dá-se o arrefecimento e fermentação do mosto, seguidos de

filtração da cerveja. Por fim, o produto é acondicionado na secção do Enchimento (Boaventura, 2009).

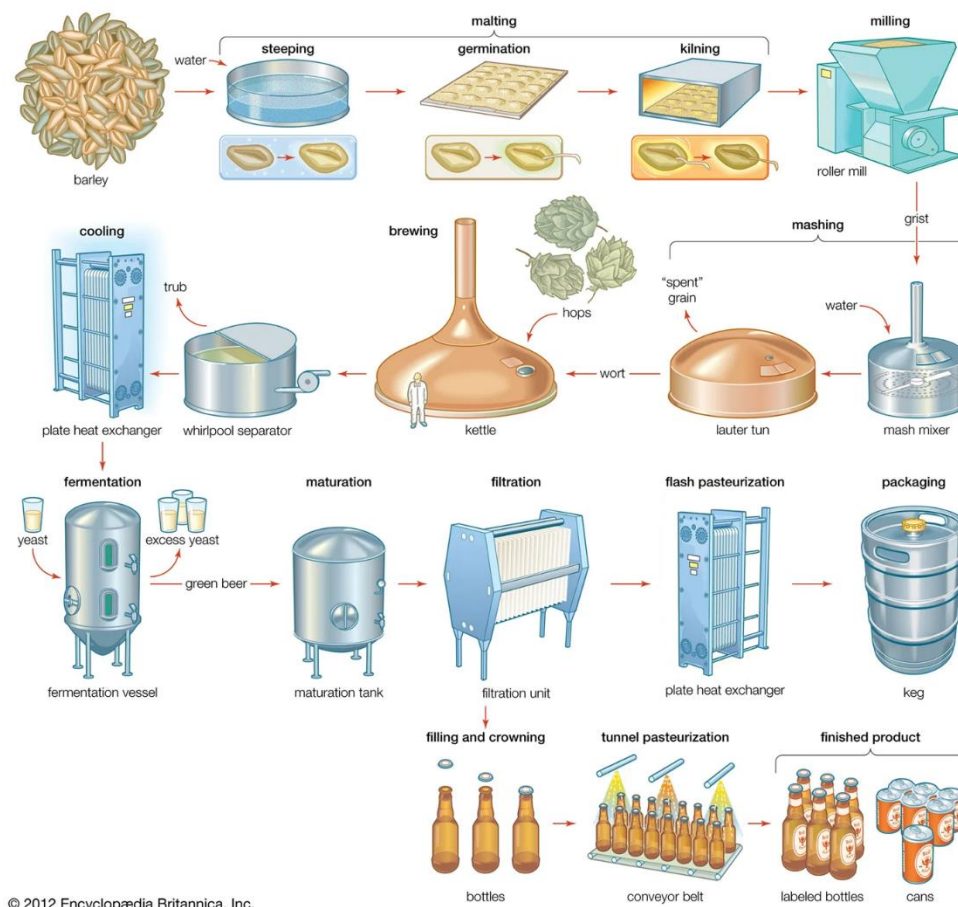


Figura 2. 1 - Esquema do processo de produção da cerveja e respetivo enchimento (Czech Brewery System, 2023).

2.2.1. Maltagem

O malte e os cereais não maltados, são fornecidos à fábrica e armazenados, pelo que o primeiro passo a ser realizado, a maltagem, é feito externamente. A maltagem tem uma duração de 6-7 dias e é constituída por três operações: a molha, onde se aumenta o teor de água do grão (42%) durante 2 dias; a germinação, na qual se prepara o grão para a extração do amido, ocorrendo a síntese de enzimas hidrolíticas e proteínas; e a secagem ($T > 80\text{ }^{\circ}\text{C}$), que tem como objetivo o término da germinação e a fixação da coloração e gosto do malte obtido (Silva, 2022).

De facto, no processo original da produção de cerveja não se utilizavam cereais não maltados. Como referido, a maltagem existe para desenvolver as enzimas, α -amilase e β -

amilase, posteriormente utilizadas na brassagem (subcapítulo 2.2.2) para que o amido se transforme em açúcares fermentescíveis (glucose, maltose e maltotriose).

2.2.2. Unidade de Fabrico

De seguida, dá-se início ao fabrico do mosto, no qual a primeira etapa é a moagem do grão, para facilitar a posterior extração dos componentes. Uma vez que as enzimas são desenvolvidas junto ao núcleo do cereal (geralmente cevada) que, por sua vez, contém casca, é importante que a etapa de moagem seja eficaz e que permita expor a maior quantidade de enzimas ao mosto. Assim, só uma boa moagem é que pode garantir um bom processo enzimático e, portanto, um bom rendimento da etapa seguinte, a brassagem.

Ora, com o desenvolvimento tecnológico, a indústria percebeu que os cereais não maltados podiam trazer vantagens para o negócio, já que, por um lado, não são maltados, o que baixa o custo de produção e, por outro, têm a mesma quantidade de amido que o cereal maltado. Deste modo, não se produzem enzimas para o mosto o que, no entanto, pode ser contornado pela adição de enzimas sintetizadas em laboratório para que se garanta a degradação do amido dos cereais não maltados. Além disso, os cereais maltados continuam a ser, em percentagem, o maior componente do total de cereais, sendo que os não maltados, por norma, não representam mais que 50%.

A segunda etapa é a brassagem nas caldeiras de caldas e empastagem, onde se adiciona água quente ao malte e aos cereais não maltados, formando-se uma pasta, e ocorre a gelificação e sacarificação do amido e a hidrólise das proteínas. A brassagem tem uma duração de 2 a 4 horas e termina a uma temperatura de 75 °C. A terceira etapa diz respeito à filtração do mosto, através de filtros de placas e quadros, com duração de 2 a 3 horas a temperaturas entre 75 e 80 °C, , na qual ocorre a separação da fração solúvel da fração insolúvel, denominada de *drêche*. Depois, sucede a etapa de ebulição, durante cerca de 2 horas, onde o mosto é concentrado e esterilizado, além de ocorrer a aromatização através da adição do lúpulo. Esta adição é fundamental no processo produtivo, já que garante o sabor amargo característico da cerveja, graças à isomerização dos seus α -ácidos que ocorre nesta etapa. É responsável pelos aromas herbáceos, florais ou frutados, caraterísticos de alguns estilos de cerveja. Por fim, o mosto é enviado para um decantador, no qual acontece a chamada clarificação do mosto, ou seja, a separação do mosto límpido dos precipitados formados durante a ebulição (Boaventura, 2009; Silva, 2022; Super Bock Group, 2020b).

2.2.3. Unidade da Adega

Após a clarificação, o mosto encontra-se ainda a uma temperatura elevada, pelo que tem de ser arrefecido antes de se adicionar a levedura. Assim, dá-se então, em primeiro lugar, o arrefecimento do mosto num permutador de placas com água glicolada, para preparar a inoculação da levedura. Além disso, ocorre também o arejamento do mosto com ar estéril. De seguida, adiciona-se finalmente a levedura durante o enchimento do fermentador.

A etapa de fermentação é realizada em reatores cilíndricos, denominados de fermentadores, na qual ocorre a fermentação dos açúcares com a produção de álcool e dióxido de carbono, em condições anaeróbias (Gonçalves, 2019; Silva, 2022). A fermentação ocorre a temperaturas controladas e tem uma duração de cerca de 7 dias (Super Bock Group, 2020b). No final desta etapa dá-se a recolha da levedura que se encontra depositada e que pode ser reutilizada em novas fermentações. Segue-se a etapa da maturação, que é conseguida pela diminuição da temperatura, permitindo a eliminação de compostos prejudiciais ao perfil aromático da cerveja, como por exemplo o diacetilo, produto secundário da fermentação. Depois, procede-se à estabilização coloidal, na qual ocorre a eliminação da matéria proteica a partir do arrefecimento entre os 0 e 2 °C. Por fim, ocorre a filtração da cerveja, para que seja removida a matéria orgânica em suspensão (Gonçalves, 2019; Silva, 2022; Super Bock Group, 2020b). É também nesta etapa que se dá a diluição da cerveja, bem como a sua carbonatação.

2.2.4. Enchimento

A etapa final do processo produtivo da cerveja é o enchimento, na qual a cerveja é acondicionada em garrafas, barris e latas. De referir que antes ou depois do enchimento, é necessária a estabilização biológica da cerveja. Esta operação pode ser efetuada a quente (pasteurização) ou a frio (filtração esterilizante).

A técnica de pasteurização pode ser aplicada antes – pasteurização *flash* – ou depois da bebida estar dentro da embalagem – pasteurização túnel (Super Bock Group, 2020b). A pasteurização *flash* é utilizada no enchimento de barril, já que este é fechado e esterilizado antes de ser cheio, enquanto que no caso das garrafas, estando abertas, necessitam de uma pasteurização túnel, já que esta assegura a qualidade do produto, bem

como a correta esterilização da garrafa. De referir ainda que esta última trata-se de uma técnica em que ocorre um consumo intensivo de água.

Quanto à técnica da filtração esterilizante, sabe-se que é vista como o futuro das cervejeiras, na medida em que pode vir a substituir a pasteurização. Contudo, ainda se trata de um processo muito dispendioso, já que implica a utilização de membranas com uma porosidade muito reduzida (até aos 0,45 μm), o que requer caudais muito baixos e também condições de enchimento esterilizadas.

Posto isso, após a pasteurização, seguem-se as etapas de rotulagem e, por fim, embalamento (Boaventura, 2009).

2.3. Água

A água é um recurso natural e cobre aproximadamente 70% do planeta Terra. A maioria é encontrada nos oceanos, sendo que apenas 3% da água existente se trata de água doce e dois terços dela está presente sob a forma de glaciares.

Consequentemente, cerca de 1,1 mil milhões de pessoas no mundo têm carência de água. A falta de condições de saneamento também se apresenta como um problema para 2,4 mil milhões de pessoas, que ficam expostas a doenças transmitidas pela água. Além disso, as alterações climáticas também têm vindo a alterar os padrões de consumo, já que provocam a escassez e as secas em certos locais, bem como as inundações noutros.

Com o ritmo atual de consumo, estima-se que, até 2025, cerca de dois terços da população mundial poderá enfrentar escassez de água, bem como se verificará diversas alterações nos ecossistemas (WWF, 2023).

Deste modo, a água é um recurso vital, uma vez que é essencial para a sobrevivência humana e é utilizada em muitos setores, incluindo a agricultura, a indústria e a produção de energia. Trata-se de uma fonte limitada e sua disponibilidade varia amplamente entre as diferentes regiões do mundo, pelo que é importante garantir que seja usada de forma responsável e sustentável.

Em relação ao uso industrial, é notável que os países desenvolvidos apresentem um consumo maior de água. No entanto, este consumo varia de acordo com o tipo de indústria. As indústrias que requerem maior quantidade de água são as centrais termoelétricas, onde a água é utilizada como fluido de arrefecimento, seguidas das indústrias do papel. Outros setores como as indústrias alimentares e farmacêuticas também requerem grandes quantidades de água, sendo um ingrediente importante no

produto final. Nesse caso, uma vez que os produtos são destinados ao consumo humano, além da quantidade, é importante que a qualidade da água seja elevada (Ferreira, 2014).

2.3.1. Gestão eficiente de Água

A gestão eficiente da água é fundamental para garantir que seja usada de forma responsável e sustentável. Existem várias estratégias e técnicas que podem ser utilizadas para garantir uma gestão eficiente da água, incluindo a monitorização, a planificação e a conservação.

No seguimento duma gestão mais eficiente dos recursos, em particular da água, apresentam-se de seguida dois planos fundamentais que são adotados pelos governos: o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água é um instrumento de política ambiental criado para promover o uso eficiente da água em Portugal, especialmente nos setores urbano, agrícola e industrial. Estabelece metas para reduzir o desperdício de água em cada setor, com o objetivo de reduzir também os volumes de cargas de poluentes e o consumo de energia. Mais concretamente, estipulou como limites para o desperdício de água para cada setor, para o período 2012-2020, as metas de 20% para o setor urbano (25% em 2009), 35% para o setor agrícola (37,5% em 2009) e 15% para o setor industrial (22,5% em 2009). Este programa pretende reduzir as perdas dos setores urbano e agrícola, bem como a otimização do uso da água no sector industrial e a limitação dos impactos no ambiente associados às descargas de águas residuais industriais (APA, 2021).

Relativamente ao setor industrial, o PNUEA define os seguintes objetivos estratégicos para a utilização eficiente de água (APA, 2021):

- “otimização do uso da água na unidade industrial, sem prejuízo na eficiência dos processos e operações em que decorre desta utilização, tal como no âmbito da aplicação das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) no contexto do regime de Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP);
- limitação dos impactes no ambiente associados às descargas de águas residuais industriais, conseguida através de uma melhor gestão do ciclo da água, no sentido da prevenção ligada a uma maior poupança já prevista em sede da PCIP.”

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um conjunto de dezassete metas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), representados na Figura 2.2, que pretendem alcançar um desenvolvimento global mais sustentável até 2030. Assim, foram projetados para abordar os desafios globais mais urgentes, incluindo a pobreza, a fome, a desigualdade, a mudança climática e a degradação ambiental (ONU, 2023).



Figura 2. 2 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2023).

No âmbito desta dissertação, destacam-se os seguintes:

- Item 6 - Água potável e saneamento: pretende garantir o acesso universal à água limpa e saneamento para todos até 2030, o que inclui a gestão sustentável deste recurso e a melhoria da sua qualidade, reduzindo também a poluição;
- Item 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura: visa a sua promoção de forma sustentável até 2030, desenvolvendo uma infraestrutura resiliente e sustentável, aumentando a capacidade industrial e tecnológica, estimulando a inovação, a investigação e o desenvolvimento e aumentando a participação do setor privado na economia. Assim, pretende-se garantir que a indústria seja desenvolvida de forma responsável, com especial atenção para a sustentabilidade ambiental e social;

- Item 12 - Produção e Consumo Sustentáveis: envolve a redução do desperdício de recursos naturais, o aumento da eficiência da sua utilização e a redução da poluição. Além disso, tem como objetivo aumentar a consciencialização sobre os impactos ambientais e sociais do consumo e da produção, bem como promover práticas mais sustentáveis para garantir que não prejudiquem o meio ambiente e a sociedade (ONU, 2023).

2.3.2. Estratégias de redução de consumos de Água

A água é utilizada na maioria das indústrias para as mais variadas aplicações, pelo que a procura deste recurso é crescente. Além disso, a tendência atual para contribuir para a sustentabilidade ambiental aliada ao aumento dos custos da água, bem como do tratamento de efluentes, estimularam a indústria a encontrar novas formas de reduzir o consumo de água e a produção de resíduos (Klemeš, 2012; Tokos & Glavič, 2007).

Segundo *Klemeš* (2012) têm sido aplicadas várias metodologias importantes com a finalidade da minimização do uso da água e da geração de resíduos, tais como:

- a minimização do consumo de água através duma gestão eficiente, recorrendo às melhores práticas/melhores técnicas disponíveis, e através do controlo adequado das operações do processo;
- a utilização de técnicas de integração de processos baseadas na análise “*pinch*”;
- a otimização do processo com base nos balanços mássicos e energéticos, com a aplicação de estratégias avançadas que têm como objetivo a redução dos efluentes, isto é, por exemplo, a otimização multiobjetivo baseada em programação matemática;
- a integração de técnicas de otimização e planeamento da produção conjugada com medições e controlo em tempo real das variáveis, o que permite manter a qualidade do produto e a minimização das perdas;
- o uso crescente de suporte inteligente para operadores baseado na aplicação de procedimentos de decisão que permitem selecionar as opções que melhor protegem o ambiente.

Assim, a adoção destas técnicas pode reduzir significativamente a procura global de água e a quantidade de efluente gerado, o que resulta numa redução significativa dos custos associados, que é fundamental para as empresas (Klemeš, 2012).

2.4. Tecnologias de tratamento de Água

Na indústria alimentar é fundamental que toda a água utilizada como matéria-prima do fabrico, bem como aquela que é destinada aos processos de higienização seja considerada própria para consumo humano (Marques, 2016).

O Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto define os requisitos a observar na utilização da água para consumo humano e, ainda, as normas de descarga das águas residuais na água e no solo, visando a promoção da qualidade do meio aquático e a proteção da saúde pública e dos solos (DRE, 1998). Assim, a água destinada ao consumo humano deve ser sujeita a um processo de tratamento apropriado que lhe confira características de qualidade de acordo com as normas de qualidade presentes no Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de agosto (DRE, 2007). Na Tabela 2.1 apresentam-se alguns dos parâmetros de qualidade considerados mais relevantes por este tipo de indústrias e que estão estabelecidos no Decreto-Lei referido.

Tabela 2. 1 - Alguns parâmetros de qualidade da água para consumo humano estabelecidos pelo Decreto-Lei nº306/2007 de 27 de agosto (DRE, 2007).

Parâmetro	Valor máximo	Unidade
Condutividade	2500	$\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C
Dureza total	-	mg L^{-1} CaCO_3
pH	6,5 a 9,0	Adimensional
Ferro	200	$\mu\text{g L}^{-1}$ Fe
Cloretos	250	mg L^{-1} Fe
Manganês	50	$\mu\text{g L}^{-1}$ Mn
Turvação	4	NTU
Oxidabilidade	5	mg L^{-1} O_2
Bactérias coliformes	0	Número/100 mL
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>).	0	Número/100 mL
Enterococos	0	Número/100 mL

Deste modo, o principal objetivo do tratamento de água para consumo humano é a remoção dos seus contaminantes, de tal modo que se garanta a proteção da saúde.

A água para consumo humano pode ser classificada, consoante a sua origem, em superficial ou subterrânea. A primeira é captada em rios, lagos e albufeiras e caracteriza-

se por conter elevadas quantidades de material em suspensão, elevada carga orgânica e baixo teor de sais dissolvidos. Já a água subterrânea caracteriza-se, normalmente, por ser uma água dura quando se encontra em contacto com solos calcários ou ácida no caso dos solos graníticos. É uma água com melhor qualidade, já que é filtrada pelas camadas terrestres, isto é, apresenta um baixo índice de cor, baixa turvação e baixa contaminação microbiológica. No entanto, pode conter alguns elementos químicos dissolvidos não desejados, e, por exemplo, se tiver quantidades elevadas de ferro e manganês, como é o caso do Super Bock Group, terá de ser submetida a um tratamento de pré-oxidação seguido de arejamento.

No que diz respeito às indústrias de bebidas, a maioria utiliza sistemas próprios de abastecimento de água, uma vez que requerem obviamente grandes volumes desta matéria-prima (Marques, 2016).

Para o caso da água subterrânea, a linha de tratamento, pós captação num furo ou poço, tem lugar numa ETA e consiste frequentemente nas seguintes operações: oxidação, coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e correção de pH. De salientar que, uma vez que a filtração convencional em meio granular não garante a total remoção dos microrganismos patogénicos e vírus é obrigatório, em Portugal, que se realize a etapa de desinfecção (Braceiro, 2014).

2.4.1. Oxidação

A oxidação tem como objetivo a conversão, através de reações de oxidação, de substâncias indesejáveis noutras que se apresentam menos inconvenientes e perigosas. Existem vários oxidantes que podem ser utilizados, nomeadamente oxigénio, ozono, permanganato de potássio, dióxido de cloro, cloro, peróxido de hidrogénio, entre outros. A escolha de determinado oxidante depende de vários fatores, tais como a eficácia, o custo, a facilidade de manuseamento e também a compatibilidade com os tratamentos anteriores ou posteriores.

O ozono trata-se de um oxidante amplamente utilizado, já que é extremamente poderoso e reage com a maioria dos compostos orgânicos e microrganismos presentes na água, sem produzir subprodutos nocivos (Morais, 2021).

O ozono permite a remoção de compostos que causam cor, odor e sabor, a remoção de ferro e manganês, a desinfecção, a oxidação de cianetos e compostos fenólicos e, ainda, facilita o processo posterior de coagulação (Braceiro, 2014; Morales, 2021).

2.4.2. Coagulação/Floculação

A coagulação/floculação trata-se de um processo físico-químico utilizado normalmente para remoção de material coloidal e de cor (Simate et al., 2011).

Estes processos implicam uma etapa em que as partículas são desestabilizadas pela adição de coagulantes como, por exemplo cloreto de ferro (FeCl_3), cal (CaO) ou sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), o que permite a sua agregação em flocos e posterior remoção por processos físicos de separação, tais como sedimentação, flotação e filtração (Magalhães, 2010; Simate et al., 2011).

2.4.3. Decantação

A decantação é um processo físico de separação cuja finalidade é remover as partículas da água que tendem a depositar-se no fundo do decantador graças à força gravítica, eliminando-se assim as partículas anteriormente floculadas (Magalhães, 2010).

2.4.4. Filtração

A filtração trata-se de mais uma etapa no processo de tratamento, na qual a água atravessa filtros constituídos por um leito de areia ou uma mistura de areia e antracite (Magalhães, 2010).

Assim, é por definição um processo físico que consiste na separação de uma fase sólida de uma fase fluida, fazendo passar a suspensão por um material poroso e permeável.

Os filtros de areia são os mais utilizados em processos de tratamento de água, operam de forma descontínua e podem ser constituídos por leitos de areia com diversas granulometrias. A lavagem dos mesmos é realizada em contracorrente e têm como principais vantagens o baixo custo de instalação, operação e manutenção; no entanto, apresentam uma grande área superficial devido à baixa velocidade de filtração (Ribeiro & Esteves, 2017).

2.4.5. Desinfecção

Com a etapa de desinfecção pretende-se que se cumpram os valores de referência para os parâmetros microbiológicos da água, garantindo que os microrganismos patogénicos são destruídos ou inativados. O cloro é um dos desinfetantes mais utilizados, uma vez que é altamente eficaz, não só na estação de tratamento, mas também ao longo da rede de distribuição de água, já que podem permanecer concentrações residuais do desinfetante, de tal modo que se previne a contaminação biológica no sistema (Magalhães, 2010).

2.4.6. Adsorção

Para os casos em que a água apresenta contaminações com matéria orgânica, compostos que provocam cor, odor e sabor indesejáveis, pode-se recorrer ao processo de adsorção, que é realizado a seguir aos filtros de areia (Magalhães, 2010).

Trata-se de uma operação de separação que explora a capacidade de certos sólidos (adsorvente) concentrarem seletivamente na sua superfície componentes em solução (adsorvato). Após a fase de adsorção segue-se uma fase de regeneração ou separação do adsorvato do adsorvente e recuperação deste último.

Os adsorventes devem apresentar uma elevada área superficial por unidade de volume e, por isso, são usadas partículas sólidas com elevada porosidade. Na maioria dos casos apenas se utilizam quatro tipos de adsorventes: carvão ativado, peneiros moleculares zeólitos, gel de sílica e alumina ativada (Ribeiro & Esteves, 2019). No caso dos tratamentos de água, é comumente utilizado carvão ativado como um leito de um filtro (Magalhães, 2010).

2.4.7. Separação por membranas

É um facto que a qualidade da água está a diminuir pela existência de cada vez mais contaminantes na natureza, o que dificulta que, após tratamento, se atinjam os respetivos requisitos previstos na legislação. Além disso, enfatiza-se atualmente a limitação do uso de agentes químicos durante o processo de tratamento de água para consumo. Assim, os processos de separação por membranas podem reduzir significativamente a adição de químicos, nomeadamente de desinfetantes, já que removem de forma eficaz os microrganismos patogénicos e vírus. Neste contexto, a aplicação da tecnologia de

membranas surge como uma alternativa aos processos de filtração, bem como, pode facilmente ser combinada com esses processos convencionais com o objetivo de melhorá-los (Braceiro, 2014).

Os processos de separação por membranas baseiam-se na passagem de um fluido através de uma membrana, que funciona como uma barreira permeável e seletiva que restringe a transferência de massa entre as fases. A seletividade da membrana permite separar a alimentação em duas correntes distintas: a que atravessa a membrana (fase constituída pelos componentes que atravessaram a membrana), designada por permeado e que constitui a água tratada, e o concentrado, que contém os poluentes removidos (fase constituída pelos componentes rejeitados pela membrana). Para que isto ocorra, é necessária a aplicação de uma força motriz que, por norma, é uma diferença de pressões (ΔP) entre a zona da alimentação e a zona do permeado (Braceiro, 2014; Ribeiro & Esteves, 2018).

Os processos de separação por membranas comumente utilizados no tratamento de água são a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI) (Braceiro, 2014). A Figura 2.3 apresenta uma comparação entre diferentes processos de separação por membranas e filtração convencional relativamente a diferentes solutos.

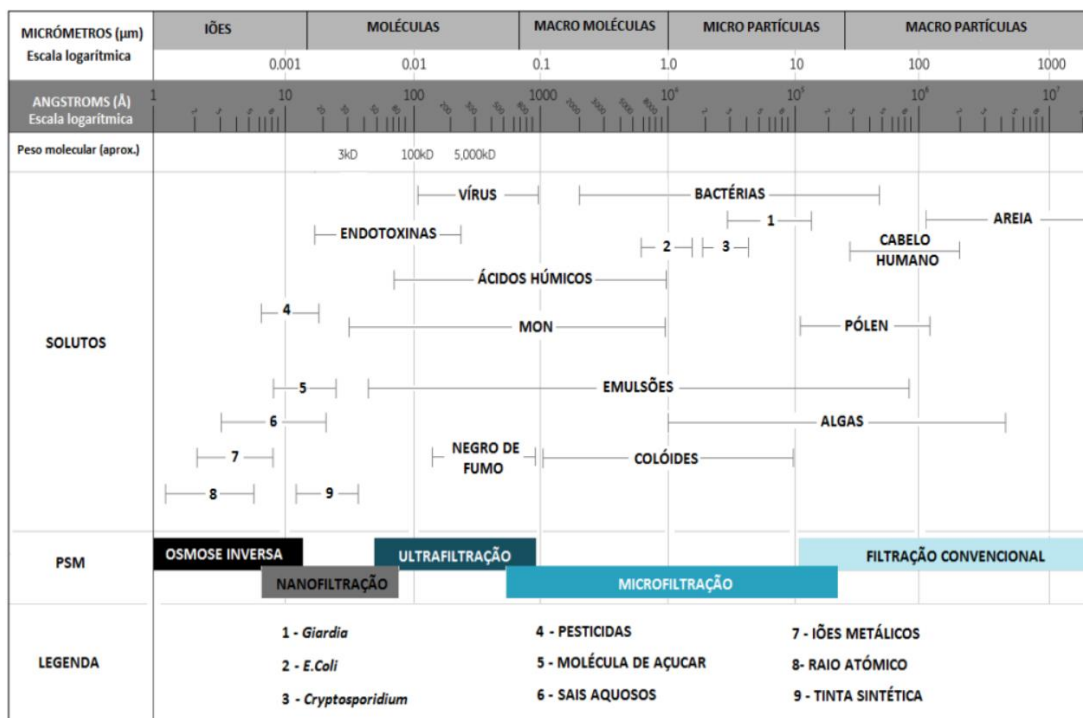


Figura 2. 3 - Faixas de remoção de solutos em diferentes processos de separação (Braceiro, 2014).

Tal como se observa na Figura 2.3, o peso molecular dos constituintes removidos e a dimensão dos poros da membrana diminuem quando se passa de MF para UF e de NF para OI. Além disso, a pressão necessária para que ocorra a separação aumenta à medida que a dimensão dos poros diminui.

Na microfiltração o tamanho dos poros das membranas varia entre 10 - 0,05 μm , removendo partículas com dimensões entre 10 - 0,1 μm e, além disso, trabalha em condições de baixas pressões (geralmente inferiores a 2 bar). É normalmente aplicada para a remoção de sólidos suspensos totais (SST), cistos de protozoários, turvação, partículas coloidais, algas e alguns microrganismos patogénicos. O permeado obtido na MF é caracterizado por água e solutos dissolvidos, sendo que, quando utilizada isoladamente, apresenta uma remoção de matéria orgânica quase nula, pelo que serve muitas vezes como um pré-filtro para processos de nanofiltração e osmose inversa, promovendo também o retardamento da colmatação dessas membranas.

Relativamente à ultrafiltração, opera-se a pressões relativamente baixas (1 – 10 bar), o tamanho dos poros das membranas varia entre 0,1 - 0,001 μm , apresentando uma faixa de remoção de partículas entre 0,05 - 0,01 μm . Portanto, remove alguns vírus, cor, odor, macromoléculas, compostos orgânicos voláteis, entre outros. Assim, o permeado obtido na UF é caracterizado por conter água e moléculas pequenas, pelo que se trata de uma água desinfetada com uma reduzida carga microbiológica.

A nanofiltração utiliza membranas com poros de tamanho menores que 0,002 μm e opera tipicamente a pressões entre 5 – 15 bar. Este processo de separação oferece uma elevada taxa de remoção de iões bivalentes, tais como cálcio e magnésio, sendo indicado para amaciamento de águas, para remoção sulfatos, ferro, metais pesados, compostos orgânicos de baixo peso molecular, entre outros. A NF pode ainda ser utilizada a nível industrial como pré-tratamento para processos de osmose inversa.

A osmose inversa é um processo de separação por membranas, em fase líquida, na qual a diferença de pressões permite um deslocamento seletivo do solvente contra o gradiente de pressão osmótica (Ribeiro & Esteves, 2018). Assim, para que a produção seja economicamente viável, a pressão de operação deste processo é elevada (15 – 150 bar) e deve ser duas vezes superior à pressão osmótica da solução, o que resulta em maiores consumos energéticos comparativamente com os restantes processos de separação por membranas (Braceiro, 2014).

Este processo permite a retenção de moléculas orgânicas, bactérias, vírus e componentes iónicos, de tal modo que o permeado obtido é uma água praticamente isenta de compostos orgânicos e iónicos (Ribeiro & Esteves, 2018).

Estes sistemas são de simples operação e requerem pouca intervenção de mão-de-obra, pelo que a OI é ideal para aplicação em sistemas onde se verifiquem grandes variações sazonais nas necessidades de água.

Dadas as características apresentadas, é evidente que o desempenho das tecnologias de separação por membranas depende do fluxo de permeado e da seletividade da própria membrana. A intensidade da força motriz associada a estes processos de separação relaciona-se com a resistência ao processo de passagem da água através da membrana, pelo que, ao longo do tempo de operação, verifica-se uma diminuição no fluxo de permeado produzido (Braceiro, 2014).

O efeito de polarização por concentração trata-se do aumento da concentração dos componentes pouco permeáveis junto da membrana, o que pode também afetar a seletividade da mesma (Ribeiro & Esteves, 2018).

A colmatção, ou *fouling*, consiste na deposição de material na superfície externa da membrana que provoca a diminuição da área ativa da membrana e, conseqüentemente, a redução do fluxo de permeado ao longo do tempo, com os restantes parâmetros de operação constantes, nomeadamente a pressão, a temperatura e o caudal e a concentração da alimentação.

Para contornar estes fenómenos e evitar as quebras na produtividade do sistema, verifica-se um aumento dos custos de operação devido aos maiores consumos energéticos, a necessidade de manutenção adicional e o uso de químicos para limpeza das membranas (Braceiro, 2014).

2.5. Água e geração de resíduos na indústria cervejeira

A água é um ingrediente substancial da cerveja, constituindo cerca de 90 a 95%, em massa, desta bebida. A utilização de água relaciona-se com o cultivo dos cereais que originam o malte, mas também com quase todas as etapas do processo produtivo, sendo que a sua composição química pode influenciar o sabor e a eficiência do fabrico da cerveja. Assim, tal como é de esperar, são necessárias grandes quantidades de água de boa qualidade para o fabrico da cerveja.

Neste tipo de indústrias, o consumo de água varia em função do tipo, número de marcas e do tamanho das cervejas, da existência de um equipamento para a lavagem de garrafas, do modo como a cerveja é embalada e pasteurizada, do tempo de vida da instalação, do sistema utilizado para limpeza dos equipamentos e, ainda, do tipo de equipamentos. Para além disto, as cervejeiras utilizam água para aquecimento e arrefecimento, limpeza de áreas de produção e águas sanitárias.

As águas residuais são um dos “resíduos” mais importantes da indústria cervejeira, sendo que as quantidades geradas dependem da utilização específica da água. Estes efluentes possuem um elevado teor de matéria orgânica, não são tóxicos, são facilmente biodegradáveis e, por norma, não contêm grandes quantidades de metais pesados. Podem ser divididos em três tipos: águas residuais de processos industriais, águas residuais sanitárias e águas pluviais.

As águas residuais sanitárias contribuem apenas com uma pequena carga orgânica e um pequeno caudal no efluente bruto. Quanto às águas residuais de processos industriais, dependem da extensão da produção e da sua eficiência quanto ao consumo de água. Assim, a carga poluente do efluente cervejeiro é constituída essencialmente por material orgânico proveniente das atividades do processo que geram líquidos, tais como mosto fraco e cerveja residual, proveniente das rejeições de embalagem, devoluções e garrafas partidas no enchimento.

A concentração de matéria orgânica pode ser medida pela Carência Química de Oxigénio (CQO), sendo que se podem observar picos quando ocorrem descargas de levedura. Na Tabela 2.2 encontra-se um resumo dos parâmetros característicos das águas residuais da indústria cervejeira (Olajire, 2020).

Tabela 2. 2 - Características das águas residuais da indústria da cerveja (Olajire, 2020).

Parâmetro	Quantidade
pH	6,5 ± 0,4
CQO (mg O₂/L)	1250 ± 100
NH₃-N (mg/L)	16 ± 5
TN (mg/L)	24 ± 3
SS (mg/L)	500 ± 50
Metais pesados	Muito baixo
Rácio água (hL)/cerveja produzida (hL)	4-10

Além das águas residuais, esta indústria gera também resíduos sólidos, tais como restos dos grãos, lúpulo, *trub*, levedura, lamas provenientes da filtração da cerveja e materiais de embalagem.

Os restos dos grãos, ou *drêche*, têm valor comercial e podem ser vendidos como um produto para a alimentação animal, cujo valor nutricional é bastante inferior ao da cevada seca. Esta quantidade é normalmente 14 kg/hL de mosto e contém um teor de água de cerca de 80%. O *trub* trata-se de uma lama constituída por mosto arrastado, partículas de lúpulo e proteínas coloidais provenientes da ebulição do mosto. Na etapa da fermentação, a levedura é reutilizada várias vezes, sendo posteriormente descartada. Este subproduto gera 1,5 a 3% de perdas do volume total de cerveja produzida. Ainda, outros resíduos incluem os rótulos da lavagem de garrafas retornáveis, vidros partidos, cápsulas e resíduos sanitários (Olajire, 2020).

2.6. Tratamento de águas residuais na indústria cervejeira

Como referido no subcapítulo 2.5, a indústria cervejeira gera grandes quantidades de efluentes que devem ser eliminados ou tratados da forma mais eficiente e segura possível, de tal modo que se cumpram os regulamentos de descarga estabelecidos pelas entidades governamentais para proteção da vida e do ambiente. Após o processo produtivo, as águas residuais devem ser tratadas e reutilizadas, o que se torna problemático e dispendioso para as cervejeiras, pelo que estas indústrias estão à procura de formas de reduzir a utilização desta água durante o processo de produção, bem como de processos de tratamento rentáveis e seguros.

O tratamento de efluentes destas indústrias geralmente envolve uma série de etapas para remover sólidos, matéria orgânica e nutrientes, como azoto e fósforo. Algumas das tecnologias mais comuns incluem decantação, filtração, tratamento biológico, tratamento químico, como é o caso da oxidação, entre outros. Assim, o tratamento recorre a métodos físicos, químicos e biológicos, sendo que a complexidade e o custo destas tecnologias geralmente aumentam com a qualidade do efluente produzido.

Importa referir que a reutilização destes efluentes pode incluir a incorporação de água tratada noutras etapas do processo produtivo, como por exemplo a lavagem de equipamentos ou a utilização para rega (Olajire, 2020).

2.6.1. Tratamentos físicos

Os tratamentos físicos são os primeiros a serem utilizados, nos quais os contaminantes são removidos à custa de processos físicos. Estas tecnologias têm como objetivo a remoção de sólidos grosseiros (Simate et al., 2011).

2.6.2. Tratamentos químicos

Os tratamentos químicos podem incluir o ajuste de pH, coagulação e floculação.

A acidez ou a alcalinidade dos efluentes afeta não só o seu tratamento como também o meio ambiente. Assim, o CO₂ residual pode ser utilizado para neutralizar efluentes alcalinos provenientes dos sistemas de limpeza (*Cleaning In Place* – CIP) e lavadoras de garrafa, bem como pode também ser usado para diminuir o pH dos efluentes, constituindo uma alternativa aos ácidos, que não são tão recomendados dada a sua natureza, efeitos de corrosão e limites de descarga de sulfatos e cloretos.

Quanto à coagulação e floculação, são processos físico-químicos, normalmente utilizados para remoção de material coloidal e de cor, tal como explicado no subcapítulo 2.4.2. (Simate et al., 2011).

2.6.3. Tratamentos biológicos

Os tratamentos biológicos desempenham um papel fundamental no tratamento de efluentes, já que através da atividade de determinados microrganismos, é possível reduzir poluentes orgânicos e, em comparação com os restantes métodos, apresentam vantagens, tais como a elevada maturidade tecnológica, a alta eficiência na remoção de CQO (entre 80 a 90%) e o baixo custo de investimento (Simate et al., 2011).

Estes tratamentos podem ser aeróbios, ou seja, dão-se na presença de oxigénio ou anaeróbios, na ausência de oxigénio. Segundo *Simate et al.* (2011), os processos aeróbios têm sido aplicados com sucesso no tratamento de efluentes das indústrias cervejeiras e, recentemente, os anaeróbios tornaram-se uma opção atrativa, sendo ainda possível a combinação de ambos.

2.7. Redução do consumo de água na indústria cervejeira

Nas indústrias devem ser implementadas as melhores práticas de gestão ambiental que permitem controlar os resíduos gerados através de ajustes pouco dispendiosos aos processos produtivos. No caso das cervejeiras, a prioridade é eliminar as perdas de material e melhorar a eficiência do fabrico e enchimento.

Em particular, a redução do consumo de água numa indústria cervejeira apresenta vários benefícios ambientais e económicos, tais como a conservação dos recursos hídricos e, consequentemente, a menor quantidade de descarga de águas residuais.

Assim, existem alterações ao processo produtivo que podem ser implementadas com o objetivo da redução do consumo de água (Olajire, 2020):

- instalação, monitorização e controlo de contadores de água nas várias secções da operação;
- paragem do fluxo de água durante as pausas, com exceção da água utilizada para limpeza;
- moagem a seco do malte;
- minimização da transferência do mosto obtido na etapa final da brassagem;
- melhoria da eficiência de produção, especialmente nas linhas de enchimento;
- instalação de válvulas de baixo caudal ou equipamentos de pulverização;
- redução da pressão da água nos equipamentos de pulverização;
- instalação de válvulas de controlo de caudal e de uma válvula automática para interromper o abastecimento de água quando há paragem da produção;
- substituição de equipamento antigo.

Além disto, deve também prestar-se atenção ao consumo de água durante os procedimentos de limpeza, podendo ser tomadas algumas medidas, (Olajire, 2020):

- utilização de um sistema fechado para operações de limpeza;
- utilização de uma vassoura/escova rígida para remoção de sólidos antes da lavagem, de modo a reduzir as cargas de poluentes contidas no efluente;
- utilização de lavadoras de baixo volume a alta pressão ou utilização de equipamentos de mistura de fluxo de água com ar comprimido, que reduz o consumo de água em 50-75% comparativamente com um sistema a baixa pressão;

- utilização de ar comprimido em vez de água sempre que possível;
- utilização de mangueiras com bicos de corte para evitar o desperdício de água.

Por fim, também se podem perder quantidades significativas de água devido à falta de manutenção adequada. Deste modo, a manutenção preventiva é essencial para que o consumo de água numa indústria cervejeira se mantenha baixo, sendo que a implementação de um plano de manutenção preventiva permite que a instalação funcione de forma mais eficiente, melhorando assim a sua produtividade (Olajire, 2020).

3. O caso Super Bock Group

Este capítulo dedica-se à descrição detalhada dos processos de tratamento que ocorrem na Estação de Tratamento de Água (ETA) e na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) da empresa em questão, bem como dos vários tipos de água existentes.

A água utilizada tem de ser própria para consumo e deve possuir uma composição em sais minerais adequada à fabricação de cerveja. Assim, no CPLB a água que é alimentada à ETA é proveniente de duas origens, nomeadamente a água captada em furos subterrâneos e a água adquirida aos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS). Além disso, a empresa possui ainda uma ETAR, com capacidade de tratamento de 250 000 habitantes equivalentes, cuja água residual tratada é, em parte, reaproveitada e, após ser sujeita a tratamento na ETA, contribui para a obtenção da água industrial.

Assim, após os devidos tratamentos que ocorrem na ETA, e que serão apresentados de seguida, surgem seis tipos de água: rede geral (RG), processo (AP), descalcificada, diluição, desmineralizada e industrial (AI). Na Figura 3.1 encontram-se representados, de forma genérica, os processos de tratamento que têm lugar na ETA e que permitem obter os tipos de água referidos.

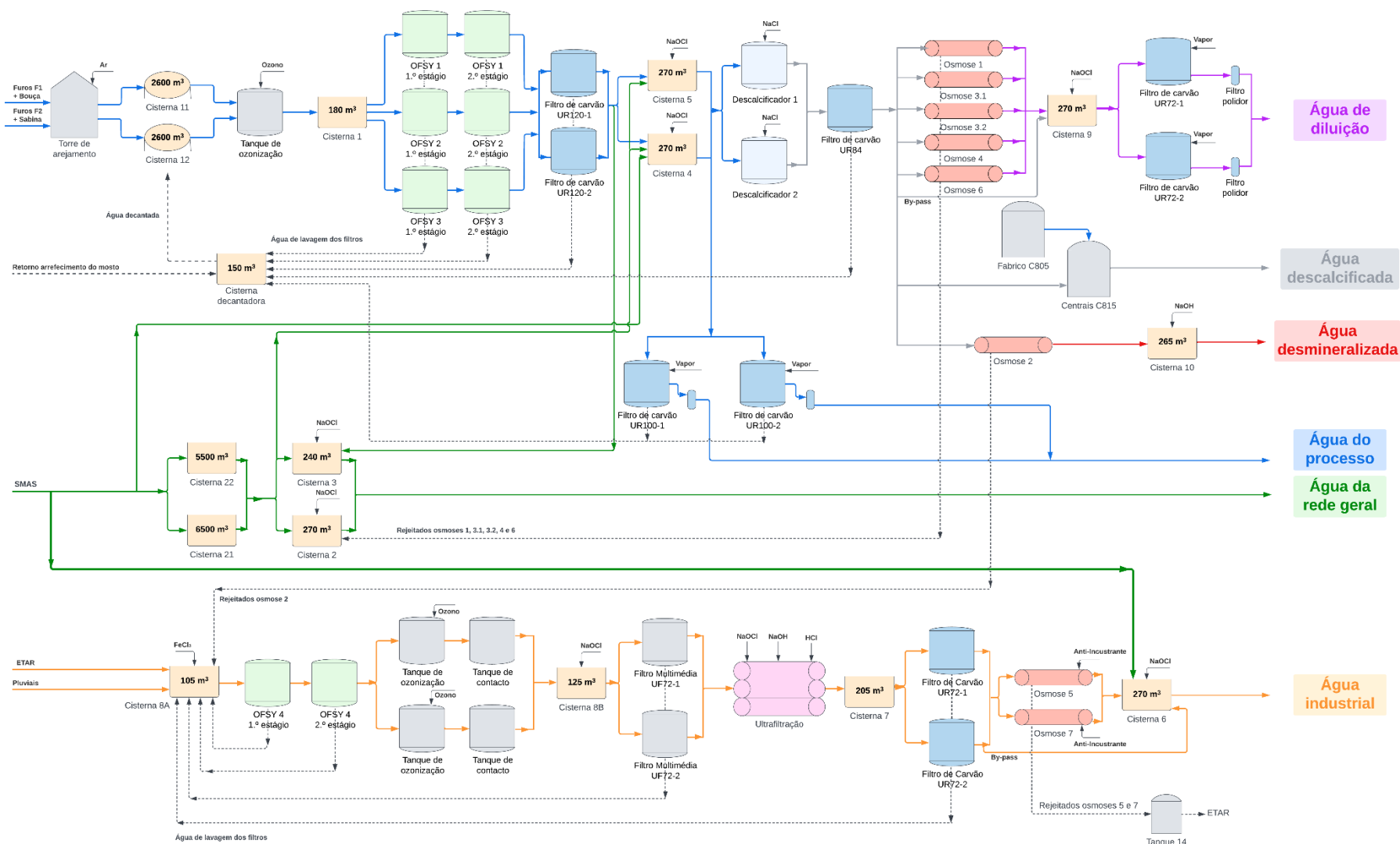


Figura 3. 1 - Fluxograma geral dos processos de tratamento da água na ETA do CPLB do Super Bock Group.

3.1. Água da rede geral (RG)

A água da rede geral (RG) provém da água adquirida à rede pública (SMAS) e é utilizada em diversos consumidores da fábrica, nomeadamente na Adega, na Mini Fábrica, nas Centrais, no Enchimento, na ETAR e ainda nos edifícios e na rega.

O processo de armazenamento deste tipo de água é simples e inclui apenas duas etapas, tal como representado a verde no esquema da Figura 3.1.

A primeira etapa consiste na receção e armazenamento da água SMAS nas cisternas 21, 22 e também na cisterna 4. De seguida, a água é encaminhada para as cisternas 2 e 3 e, pontualmente 4 e 5, onde é também armazenada e se procede à cloragem. A cisterna 2 recebe a água rejeitada das unidades de osmose inversa 1, 3.1, 3.2, 4 e 6. A água proveniente dos filtros de carvão UR120 poderá também ser armazenada na cisterna 3. A cloragem dá-se pela adição de hipoclorito de sódio (NaOCl) e tem como objetivo a proteção da água que se encontra armazenada, sendo realizada através da recirculação interna da água e injeção simultânea de cloro, através de uma bomba doseadora.

3.2. Água do processo (AP)

A água do processo (AP) provém da água captada nos furos e é utilizada em dois consumidores da fábrica, nomeadamente o Fabrico e a Mini Fábrica. Isto significa que esta água é uma das utilizadas diretamente no produto e, por isso, o seu processo de tratamento tem de ser rigoroso e será apresentado de seguida. Este tipo de água serve também de base para a produção da água de diluição, da água descalcificada e da água desmineralizada, tal como se observa a azul no esquema da Figura 3.1.

As captações são realizadas na zona Norte, localizada no perímetro da fábrica (F2) e na quinta da Sabina, e na zona Sul (F1) e quinta da Rua dos Santos Lessa (Bouça). De referir que existem, atualmente, um total de 12 furos ativos que alimentam a fábrica. A água captada é enviada para a etapa de arejamento.

Assim, o processo de tratamento engloba as etapas de arejamento e armazenagem nas cisternas 11 e 12, ozonização, contacto na cisterna 1, filtração nos filtros OFSYs 1, 2 e 3, filtração nos filtros de carvão (FC) UR120-1 e 2, armazenagem/cloragem nas cisterna 4 e 5 e nova filtração nos filtros de carvão UR100-1 e 2.

3.2.1. Arejamento e Armazenagem (Cisternas 11 e 12)

As captações F1 são diretamente encaminhadas para a torre de arejamento, enquanto as captações F2 são previamente armazenadas no tanque 1 (não representado na Figura 3.1). Como tal, o arejamento da água captada F1 e F2 dá-se na torre de arejamento, onde é injetado ar atmosférico com o objetivo de oxidar o ferro e o manganês presente nesta água.

Deste processo, a água é encaminhada para as cisternas 11 e 12. Na cisterna 12 é armazenada juntamente com a que provém da cisterna decantadora e a resultante de parte da lavagem dos filtros de carvão UR120 (não representado na Figura 3.1). A esta última chega água resultante das lavagens dos filtros OFSYs 1, 2 e 3, filtros de carvão UR120, UR100 e UR84 e parte da água proveniente do arrefecimento do mosto.

3.2.2. Ozonização

Na etapa de ozonização da água o ozono, previamente produzido num gerador de ozono, é injetado no tanque de ozonização.

3.2.3. Contacto (Cisterna 1)

Nesta etapa de contacto, cisterna 1, com capacidade de armazenamento de 200 m³, promove-se a recirculação interna para que a água previamente ozonizada seja homogeneizada.

3.2.4. Filtros OFSYs (1, 2 e 3)

Os filtros OFSYs (1, 2 e 3), da marca *Culligan®*, são constituídos por um leito de vários minerais dispostos em camadas de granulometria decrescente. Tal como se observa na Figura 3.2, cada um destes sistemas de Omnifiltração (OFSY) apresenta dois estágios, pelo que o segundo filtro retém a turbidez que eventualmente não seja retida pelo primeiro. O sistema opera a altas velocidades de filtração, apresentando uma melhor qualidade de tratamento comparativamente com os sistemas convencionais, bem como um menor consumo de produtos químicos (Culligan, 2023). Como já representado na Figura 3.1, a água que é filtrada pelos OFSYs é alimentada aos filtros de carvão UR120

e a água de lavagem é encaminhada para a cisterna decantadora. A principal função desta etapa é reter o ferro e o manganês presentes na água, proveniente da cisterna 1.

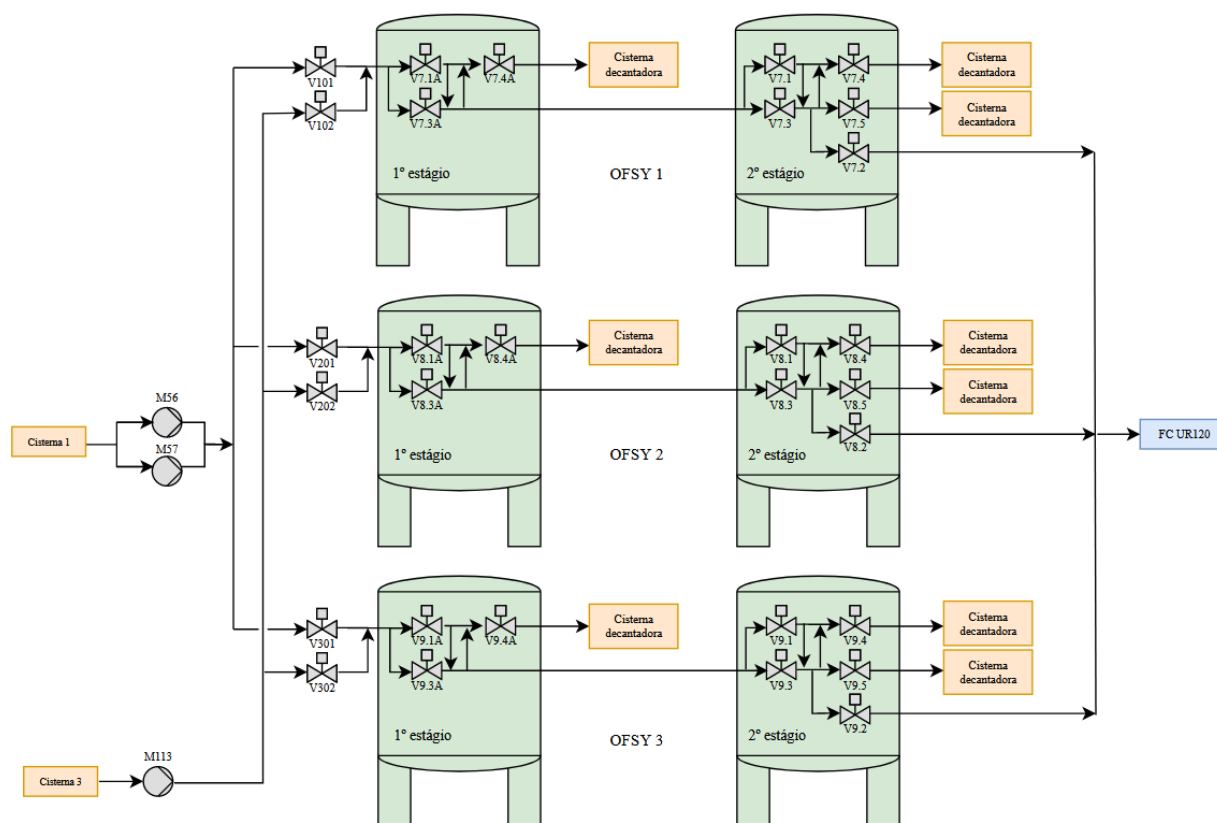


Figura 3. 2 - Esquema representativo do sistema de Omnifiltração (OFSYs 1, 2 e 3).

Após cada ciclo de filtração, dá-se início à operação de lavagem destes filtros, utilizando água da rede geral proveniente da cisterna 3 (não representado na Figura 3.1), tal como representado na Figura 3.2, pelo que este processo origina uma água residual que é enviada para a cisterna decantadora. Nas Tabela 3.1 e 3.2 apresenta-se o modo como estes filtros operam, no que diz respeito à fase de serviço e às diferentes fases de lavagem, bem como o destino da água produzida.

Tabela 3. 1 - Parâmetros relativos às fases de operação dos OFSYs 1, 2 e 3.

Equipamento	Fase de operação	Abertura de válvulas	Destino
OFSY 1	Em serviço	V101, V7.1A, V7.1 e V7.2	FC UR120
	Lavagem	Retrolavagem 1	Cisterna decantadora
		Retrolavagem 2	Cisterna decantadora
		Pausa	-
		Lavagem final	Cisterna decantadora

Tabela 3. 2 - Parâmetros relativos às fases de operação dos OFSYs 1, 2 e 3 (continuação).

Equipamento	Fase de operação		Abertura de válvulas	Destino
OFSY 2	Em serviço		V201, V8.1A, V8.1 e V8.2	FC UR120
	Lavagem	Retrolavagem 1	V202, V8.3A e V8.4A	Cisterna decantadora
		Retrolavagem 2	V202, V8.1A, V8.3 e V8.4	Cisterna decantadora
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V202, V8.1A, V8.1 e V8.5	Cisterna decantadora
OFSY 3	Em serviço		V301, V9.1A, V9.1 e V9.2	FC UR120
	Lavagem	Retrolavagem 1	V302, V9.3A e V9.4A	Cisterna decantadora
		Retrolavagem 2	V302, V9.1A, V9.3 e V9.4	Cisterna decantadora
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V302, V9.1A, V9.1 e V9.5	Cisterna decantadora

3.2.5. Filtros de Carvão (UR120-1 e UR120-2)

Com o objetivo de remoção de compostos aromáticos, faz-se passar a água filtrada (OFSYs) por dois filtros de carvão ativado, UR120-1 e UR120-2, cujo esquema detalhado se encontra representado na Figura 3.3.

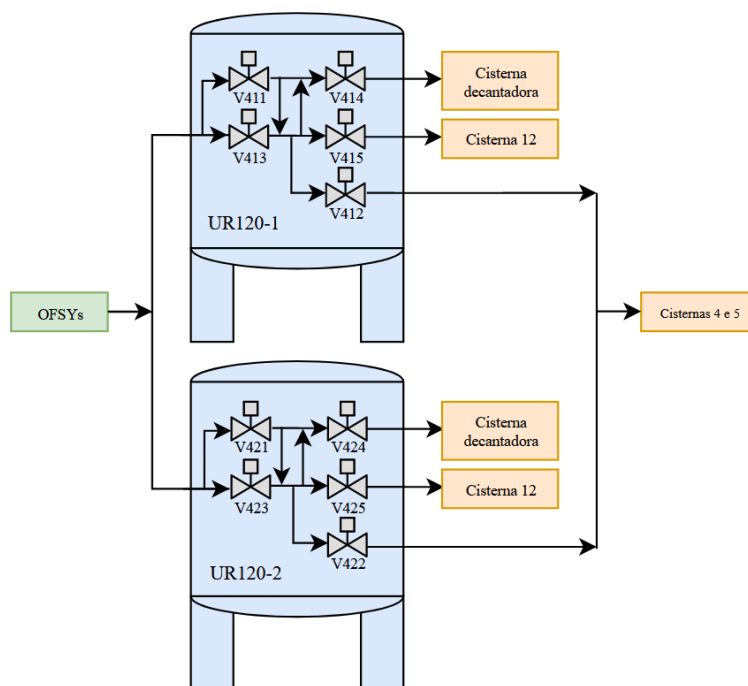


Figura 3. 3 - Esquema representativo dos Filtros de Carvão UR120.

Relativamente à operação de lavagem destes filtros, é utilizada água proveniente dos OFSYs 1, 2 e 3, pelo que ocorre mais uma vez a formação de água residual que é enviada tanto para a cisterna 12 (não representado na Figura 3.1) como para a cisterna decantadora. Na Tabela 3.3 apresenta-se o modo como os filtros de carvão UR120 operam, relativamente à fase de serviço e às diferentes fases de lavagem, bem como o destino da água produzida.

Tabela 3. 3 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Filtros de Carvão UR120.

Equipamento	Fase de operação		Abertura de válvulas	Destino
FC UR120-1	Em serviço		V411 e V412	Cisternas 4 e 5
	Lavagem	Retrolavagem	V413 e V414	Cisterna decantadora
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V411 e V415	Cisterna 12
FC UR120-2	Em serviço		V421 e V422	Cisternas 4 e 5
	Lavagem	Retrolavagem	V423 e V424	Cisterna decantadora
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V421 e V425	Cisterna 12

3.2.6. Armazenagem/Cloragem (Cisternas 4 e 5)

Após passagem pelos filtros de carvão, a água é armazenada nas cisternas 4 e 5, onde se faz a cloragem, tal como já explicado para a água da rede geral (subcapítulo 3.1), através da adição de hipoclorito de sódio (NaOCl).

3.2.7. Filtros de Carvão (UR100-1 e UR100-2)

Por fim, a água armazenada é encaminhada para novos filtros de carvão, UR100-1 e UR100-2 (Figura 3.4), que têm como função a retenção do cloro adicionado anteriormente.

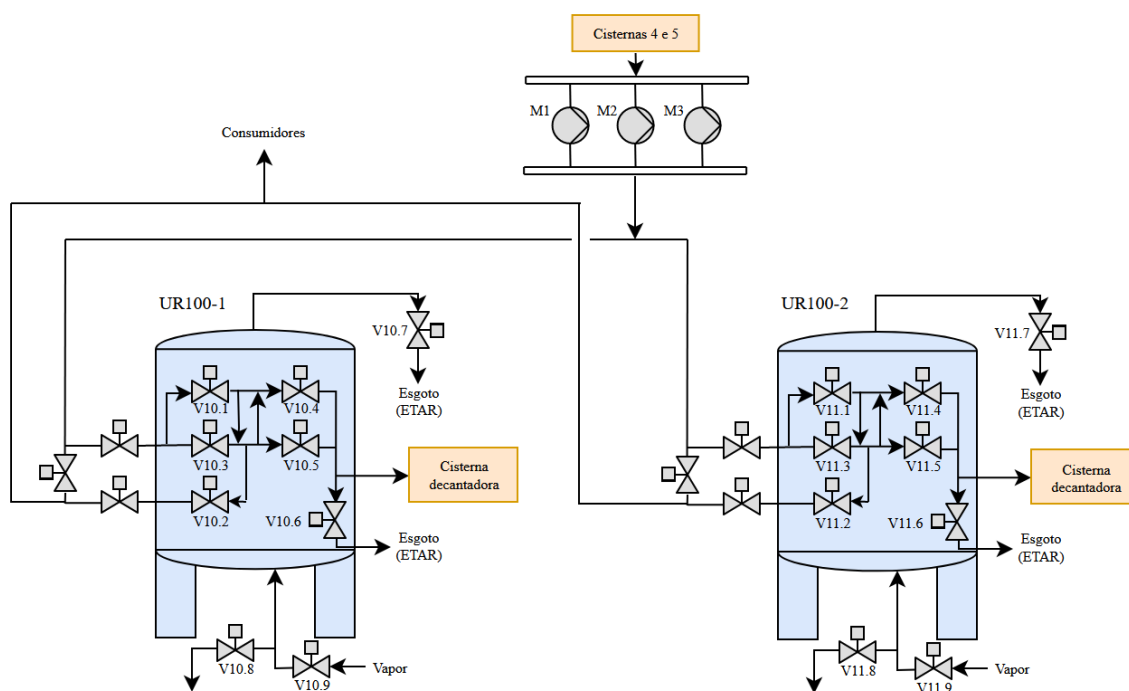


Figura 3. 4 - Esquema representativo dos Filtros de Carvão UR100.

De referir ainda que através da lavagem destes filtros, onde é utilizada água da rede geral, proveniente das cisternas 4 e 5 (não representado na Figura 3.1), produz-se água residual que é enviada para a cisterna decantadora, bem como para o esgoto, tal como registado na Tabela 3.4.

Tabela 3. 4 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Filtros de Carvão UR100.

Equipamento	Fase de operação		Abertura de válvulas	Destino
FC UR100-1	Em serviço		V10.1 e V10.2	Consumidores
	Lavagem	Retrolavagem total	V10.3, V10.4 e V10.6	Esgoto
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V10.1 e V10.5	Cisterna decantadora
FC UR100-2	Em serviço		V11.1 e V11.2	Consumidores
	Lavagem	Retrolavagem	V11.3, V11.4 e V11.6	Esgoto
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V11.1 e V11.5	Cisterna decantadora

Além disso, existe também uma fase de esterilização, onde se utiliza vapor, gerando uma vez mais água residual. Esta fase consiste em etapas como retrolavagem, abaixamento do nível do leito, aquecimento com vapor até 100 °C, esterilização durante

90 minutos e posterior arrefecimento em duas fases (50 e 20 °C) e, finalmente, purga de condensados.

De referir que a água do processo que é destinada ao Fabrico sofre ainda um arrefecimento, que ocorre na Adega, de modo a garantir que possui uma temperatura adequada para a etapa de arrefecimento do mosto.

3.3. Água descalcificada

A água descalcificada provém dum processo de tratamento que se inicia a partir das cisternas 4 e 5 e é essencialmente utilizada para aproveitamentos térmicos da Adega, apresentando as características requeridas pelos equipamentos que efetuam as trocas térmicas e que se encontram nas Centrais.

O processo de tratamento, representado a cinzento na Figura 3.1, engloba apenas duas etapas: descalcificação e filtração no filtro de carvão UR84.

3.3.1. Descalcificação e Filtro de Carvão (UR84)

A partir das cisternas 4 e 5, a água é encaminhada para os descalcificadores 1 e 2, tal como se observa na Figura 3.1, cuja função é reduzir a dureza da mesma, graças às resinas seletivas existentes nestes equipamentos. Por fim, no filtro de carvão UR84 remove-se o cloro que permanece da etapa de cloragem, obtendo-se a água descalcificada, tal como representado na Figura 3.5.

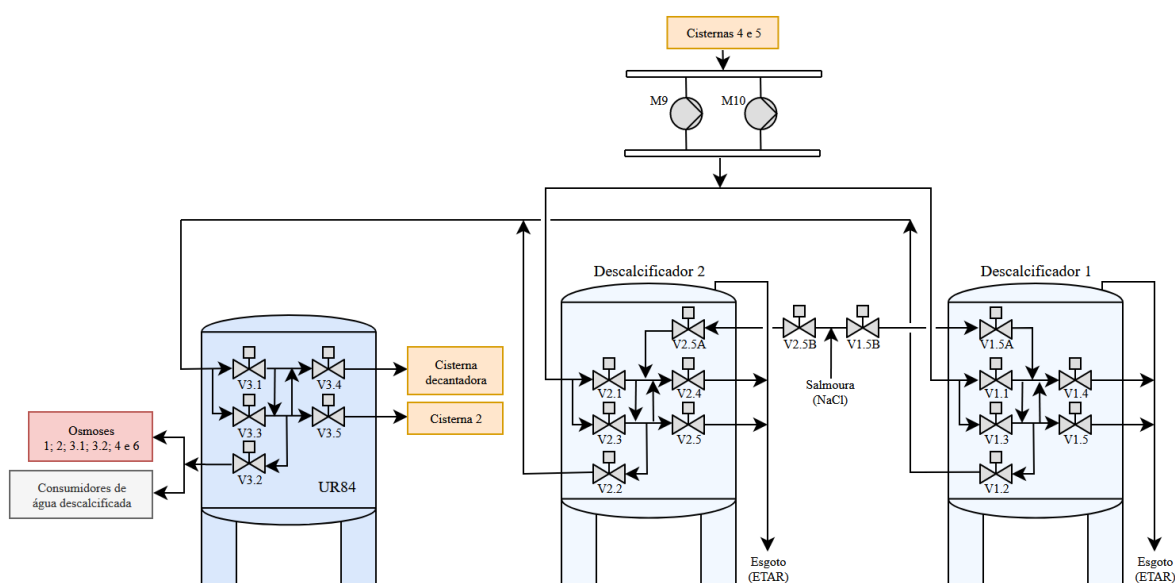


Figura 3. 5 - Esquema representativo dos Descalcificadores e do Filtro de Carvão UR84.

Após o tratamento dá-se a lavagem dos descalcificadores e a regeneração das resinas, através da recirculação de cloreto de sódio (NaCl), processos que originam também água residual que é direcionada unicamente para o esgoto. Ainda, efetua-se a lavagem ao filtro de carvão UR84, dando novamente origem a água residual, direcionada tanto para a cisterna decantadora como para a cisterna 2 (não representado na Figura 3.1).

Na Tabela 3.5 apresenta-se o modo como estes equipamentos operam, no que diz respeito à fase de serviço e às diferentes fases de lavagem, bem como o destino das diferentes águas produzidas.

Tabela 3. 5 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Descalcificadores e do Filtro de Carvão UR84.

Equipamento	Fase de operação		Abertura de válvulas	Destino
Descalcificador 1	Em serviço		V1.1 e V1.2	FC UR84
	Lavagem e regeneração	Retrolavagem	V1.3 e V1.4	Esgoto
		Regeneração	V1.5A, V1.5 (Cisternas 4/5) e V1.5B (Salmoura)	Esgoto
		Lavagem final	V1.1 e V1.5	Esgoto
Descalcificador 2	Em serviço		V2.1 e V2.2	FC UR84
	Lavagem e regeneração	Retrolavagem	V2.3 e V2.4	Esgoto
		Regeneração	V2.5A, V2.5 (Cisternas 4/5) e V2.5B (Salmoura)	Esgoto
		Lavagem final	V2.1 e V2.5	Esgoto
FC UR84	Em serviço		V3.1 e V3.2	Osmoses 1, 2, 3.1, 3.2, 4 e 6 / Consumidores
	Lavagem	Retrolavagem	V3.3 e V3.4	Cisterna decantadora
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V3.1 e V3.5	Cisterna 2

3.4. Água de diluição (AD)

A água de diluição (AD) é proveniente dum processo de tratamento que se inicia a partir do filtro de carvão UR84, tal como se observa na Figura 3.1 representado a roxo. Esta água é utilizada exclusivamente num consumidor da fábrica, a Adega, sendo assim, a par da água do processo, utilizada diretamente no produto, cuja função é, como o próprio

nome indica, diluir o produto. Assim, o seu processo de tratamento, que será explorado de seguida, tem de ser rigoroso, tratando-se da água que apresenta a melhor qualidade da fábrica.

O processo de tratamento da água de diluição, após o filtro de carvão UR84, engloba quatro etapas, tais como, osmose inversa (1, 3.1, 3.2, 4 e 6), armazenagem/cloragem na cisterna 9, filtração no filtros de carvão UR72-1 e UR72-2 e, por fim, filtração em filtros polidores.

3.4.1. Osmose Inversa (1, 3.1, 3.2, 4 e 6)

A partir do filtro de carvão UR84, dá-se a passagem da água nas OI 1, 3.1, 3.2, 4 e 6, cuja função é reter os sais, permitindo a redução da condutividade da água resultante para valores residuais. Deste processo, surgem ainda rejeitados, que são direcionados para a cisterna 2, de modo a permitir o seu reaproveitamento.

3.4.2. Armazenagem/Cloragem (Cisterna 9)

De seguida, a água osmotizada é armazenada na cisterna 9, onde ocorre mais uma cloragem, tal como já explicado para a água da rede geral (subcapítulo 3.1), através da adição de hipoclorito de sódio (NaOCl). De referir que, tal como se verifica na Figura 3.1, existe um *by-pass* de água descalcificada para esta cisterna, com o objetivo de remineralizar a água osmotizada para os valores pretendidos para a cerveja. Assim, de acordo com os parâmetros da Carlsberg, é possível garantir que se mantém sempre a qualidade da cerveja produzida.

Ainda, é direcionada água da cisterna 9 diretamente para a zona de produção de Somersby existente na Adega (não representado na Figura 3.1).

3.4.3. Filtros de Carvão (UR72-1 e UR72-2)

A próxima etapa ocorre nos filtros de carvão UR72-1 e UR72-2, que já se encontram na Adega e que estão representados na Figura 3.6, para retenção do cloro adicionado anteriormente.

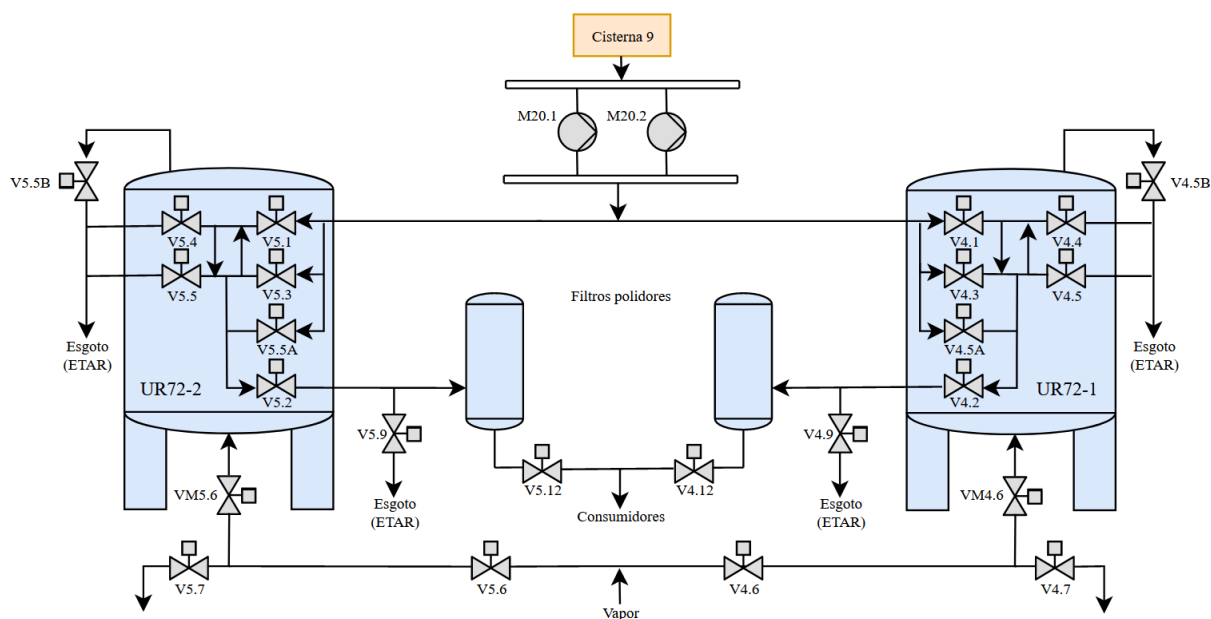


Figura 3. 6 - Esquema representativo dos Filtros de Carvão UR72.

Na lavagem destes filtros é utilizada água proveniente da cisterna 9 e forma-se água residual que é enviada para esgoto, tal como indicado na Tabela 3.6, na qual também se apresenta o registo do modo de operação na fase de serviço.

Tabela 3. 6 - Parâmetros relativos às fases de operação dos Filtros de Carvão UR72.

Equipamento	Fase de operação		Abertura de válvulas	Destino
FC UR72-1	Em serviço		V4.1, V4.2 e V4.12	Consumidores
	Lavagem	Retrolavagem	V4.3 e V4.4	Esgoto
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V4.1 e V4.5	Esgoto
FC UR72-2	Em serviço		V5.1, V5.2 e V5.12	Consumidores
	Lavagem	Retrolavagem	V5.3 e V5.4	Esgoto
		Pausa	-	-
		Lavagem final	V5.1 e V5.5	Esgoto

Além disso, existe também uma fase de esterilização, onde se utiliza vapor, existindo, uma vez mais, a formação de água residual. Esta fase consiste em etapas como retrolavagem, abaixamento do nível do leito, aquecimento com vapor em duas fases (30 e 100 °C), posterior arrefecimento e, finalmente, purga de condensados.

3.4.4. Filtros Polidores

Por último, a água é ainda filtrada através de filtros polidores, também representados na Figura 3.6, com partículas de 40 μm de dimensão, de modo a reter possíveis partículas existentes, obtendo-se assim a água de diluição. Ainda, antes de ser direcionada aos respetivos consumidores atravessa uma torre de desarejamento (não representada no esquema da Figura 3.1) existente na zona da Adega, tornando-se água desarejada, característica essencial para o produto.

3.5. Água desmineralizada

A água desmineralizada provém dum processo de tratamento que se inicia a partir do filtro de carvão UR84, isto é, resulta de parte da água descalcificada. Esta água é contabilizada num consumidor da fábrica, as Centrais, e é utilizada nas caldeiras para produção de vapor, apresentando as características requeridas pelas mesmas.

O processo de tratamento da água desmineralizada, após o filtro de carvão UR84, engloba apenas duas etapas, a osmose inversa 2 e a armazenagem/correção de pH na cisterna 10, tal como se apresenta a vermelho na Figura 3.1.

3.5.1. Osmose Inversa (2)

A função da OI 2 é reter os sais, permitindo a redução da condutividade do permeado para valores residuais. Apesar desta OI tratar a mesma água que as restantes, os rejeitados deste processo são direcionados para a Cisterna 8A existente na instalação de tratamento da água industrial.

3.5.2. Armazenagem/Correção do pH (Cisterna 10)

Por fim, a água osmotizada é armazenada na cisterna 10, onde se efetua a correção de pH através de recirculação de água, sendo simultaneamente analisado o valor de pH e adicionado hidróxido de sódio (NaCl) em linha para o valor definido no Manual Técnico. Assim, nesta etapa obtém-se água desmineralizada, apta para a produção de vapor nas caldeiras.

3.6. Água industrial (AI)

A instalação de tratamento para a obtenção de água industrial (AI) foi dimensionada para receber e tratar água proveniente da ETAR da empresa, cuja qualidade respeita obviamente os limites de descarga. Deste modo, esta instalação de recuperação tem como principais objetivos a desinfecção e a redução do teor de sais dissolvidos, do teor de matéria orgânica e da quantidade dos sólidos em suspensão e, além disso, a produção máxima de um caudal de 45 m³/h, sendo 15 m³/h produzidos na osmose inversa 5 (OI 5) e os restantes 30 m³/h na osmose inversa 7 (OI 7) (Veolia, 2022). Esta água é utilizada em vários consumidores da fábrica, nomeadamente nas Centrais e no Enchimento. De referir que parte da AI é também consumida na área da Logística, mas o contador é comum às linhas de enchimento de barril.

O processo de recuperação de água, representado a cor de laranja na Figura 3.1, engloba etapas como armazenagem na cisterna 8A, filtração nos filtros OFSYs 4, ozonização, armazenagem/cloragem na cisterna 8B, filtração nos filtros multimédia UF72-1 e UF72-2, ultrafiltração, armazenagem na cisterna 7, filtração nos filtros de carvão UR72-1 e UR72-2, osmose inversa 5 e 7 e, por fim, armazenagem/cloragem na cisterna 6.

3.6.1. Armazenagem (Cisterna 8A)

Primeiramente, a água a recuperar é armazenada na cisterna 8A, a qual possui várias origens, nomeadamente águas pluviais, efluente final da ETAR, rejeitado da osmose inversa 2, lavagem final dos filtros OFSYs, lavagem final dos filtros multimédia e parte final da retrolavagem dos filtros de carvão e filtros multimédia.

Nesta cisterna faz-se a adição de cloreto de ferro (FeCl₃) que promove o processo de coagulação da matéria em suspensão (Veolia, 2022).

3.6.2. Filtros OFSYs (4)

Nos filtros OFSYs 4 dá-se a primeira etapa de tratamento do efluente, cujo sistema é composto por dois recipientes pressurizados em série, que proporcionam uma etapa de filtração em dois estágios. O objetivo desta etapa passa por remover os sólidos suspensos totais (SST) e reduzir a turvação. A adição do coagulante (FeCl₃) na cisterna 8A permite

melhorar o rendimento desta filtração, já que promove a agregação de pequenas partículas.

No final de cada ciclo de filtração, dá-se início à operação de lavagem destes filtros, pelo que ocorre neste processo a formação de água residual. Assim, o processo de lavagem dá-se em três etapas: retrolavagem do primeiro estágio, retrolavagem do segundo estágio e lavagem do primeiro e, por fim, lavagem de acondicionamento. Na retrolavagem do primeiro estágio, a água flui no sentido ascendente, eliminando os sólidos retidos nas camadas filtrantes. Já na etapa de retrolavagem do segundo estágio e lavagem do primeiro a água flui no sentido descendente no primeiro estágio e no sentido ascendente no segundo estágio, de tal modo que a água utilizada na retrolavagem do segundo é pré-filtrada no primeiro, sistema que permite então a utilização de água bruta para realizar as lavagens. Por fim, na lavagem de condicionamento (lavagem final) a água flui no sentido descendente nos dois estágios, com o objetivo de recompor as camadas filtrantes e ainda eliminar os últimos resíduos (Veolia, 2022).

3.6.3. Ozonização

De seguida, a água filtrada é encaminhada para a etapa de ozonização, que tem como objetivo a redução da matéria orgânica existente, a oxidação de metais e, ainda, a desinfecção. Portanto, o elevado poder de oxidação do ozono deve garantir a necessária remoção da matéria orgânica, promovendo a redução da CQO e do Carbono Orgânico Total (COT), e a eliminação das contaminações bacteriológicas presentes na água que provém da ETAR. Além disso, pretende-se também a oxidação de metais, nomeadamente o ferro, com o objetivo de facilitar a sua remoção nas etapas de filtração subsequentes.

Nesta etapa de tratamento existem dois sistemas de ozonização em paralelo, sendo que cada um deles é composto por um gerador de ozono e um sistema de injeção para dois tanques em série, ou seja, um tanque de ozonização e um tanque de contacto. Ambos são alimentados com um caudal de água de 30 m³/h, sendo que um dos geradores de ozono tem uma capacidade de débito de ozono igual a 140 g/h e o outro igual a 160 g/h (Veolia, 2022).

3.6.4. Armazenagem/Cloragem (Cisterna 8B)

A água ozonizada é posteriormente armazenada na cisterna 8B, onde ocorre mais uma cloragem através da injeção de hipoclorito de sódio (NaOCl) diretamente na superfície da cisterna, junto à entrada da água (Veolia, 2022).

3.6.5. Filtros Multimédia (UF72-1 e UF72-2)

Esta etapa de filtração, que ocorre nos filtros multimédia UF72-1 e UF72-2 instalados em paralelo, tem como objetivo a remoção de partículas de maior dimensão que se tenham formado na etapa anterior, servindo também de pré-tratamento à ultrafiltração. Este tipo de filtro possui um leito composto por várias camadas distintas e com granulometria decrescente do topo (antracite) para a base (areia de sílica), garantindo assim uma distribuição gradual das partículas em suspensão através da massa filtrante.

Após esta etapa, verifica-se que todos os sólidos em suspensão com dimensão superior a 80 μm são removidos.

Ainda, e de forma periódica, ocorre a operação de lavagem destes filtros, utilizando água proveniente da cisterna 8B, pelo que ocorre neste processo a formação de água residual. O processo de lavagem ocorre em três etapas: retrolavagem, assentamento de camadas (pausa) e lavagem final de condicionamento. Na retrolavagem a água flui no sentido ascendente para eliminar os sólidos retidos nas camadas filtrantes. Depois, na etapa de assentamento de camadas interrompe-se o fluxo de água, de tal modo que ocorre o assentamento gravítico do leito. Por fim, na lavagem de condicionamento a água flui no sentido descendente, com o objetivo de recompor as camadas filtrantes e eliminar os últimos resíduos remanescentes (Veolia, 2022).

3.6.6. Ultrafiltração

A unidade de ultrafiltração serve para refinar a filtração realizada anteriormente, pelo que permite remover sólidos em suspensão com dimensões superiores a 0,02 μm . Este pequeno diâmetro dos poros filtrantes permite também a redução da turvação e, ainda, a remoção de organismos patogénicos, bem como a maior parte dos vírus e bactérias presentes na água.

Tal como para os restantes sistemas filtrantes, também este executa lavagens que, neste caso, são curtas, pelo que também se verifica a formação de água residual.

Além disso, periodicamente, são efetuadas retrolavagens químicas que são fundamentais para manter a porosidade das membranas a longo prazo, pelo que a frequência deste tipo de lavagens depende da qualidade da água resultante. As retrolavagens químicas utilizam hidróxido de sódio (NaOH) se o objetivo for a remoção de depósitos orgânicos, ácido clorídrico (HCl) para remoção de incrustações minerais e, esporadicamente, utiliza-se hipoclorito de sódio (NaOCl) para desinfecção, tal como se observa na Figura 3.1.

Ainda nesta etapa, é possível injetar em linha ácido clorídrico (HCl), com o objetivo de diminuir o pH, o que permite baixar a tendência incrustante da água e, consequentemente, o aumento do desempenho da etapa de OI subsequente (Veolia, 2022).

3.6.7. Armazenagem (Cisterna 7)

Após a etapa de UF, a água é armazenada na cisterna 7. É expectável que o poder desinfetante da água, garantido pela cloragem efetuada na cisterna 8B, ainda se faça sentir nesta cisterna, parâmetro mensurável através da análise do cloro livre (Veolia, 2022).

3.6.8. Filtros de Carvão (UR72-1 e UR72-2)

Depois, a água armazenada é encaminhada para os filtros de carvão UR72-1 e UR72-2 do tratamento da AI, que se encontram em paralelo e que têm como função a remoção do cloro e da CQO residual que esteja dissolvida, servindo também de pré-tratamento às unidades de osmose, evitando danificar as respetivas membranas. Estas são extremamente sensíveis à presença de compostos oxidantes, como é o caso do cloro e, por essa razão, esta etapa de filtração é fundamental. De salientar que através da lavagem destes filtros, origina-se uma água residual (Veolia, 2022).

3.6.9. Osmose Inversa (5 e 7)

Esta etapa permite remover aproximadamente 98% dos sais dissolvidos, sendo importante salientar que a composição do permeado resultante é obviamente determinada pela composição da água de alimentação e pelas propriedades das membranas. Existe

ainda uma corrente de rejeitado, na qual ficam acumulados os contaminantes, que é direcionada para o tanque 14 (Figura 3.1) e, posteriormente, reencaminhada para a ETAR.

Toda a água que é alimentada às duas unidades de osmose inversa atravessa uns pré-filtros de proteção, com porosidade de 0,05 μm , que removem eventuais micropartículas em suspensão que condicionam o normal funcionamento das membranas. Além disso, adiciona-se a essa água um inibidor de incrustações (ENK RO 191 AF) para minimizar os problemas associados a este fenómeno.

No entanto, há ainda necessidade de efetuar limpezas químicas periódicas, de acordo com as alterações observadas, que sejam indicadoras de colmatção das membranas. Deste modo, recorre-se à limpeza com ácido quando se verificam incrustações de carbonato ou de sulfato e incrustações coloidais inorgânicas e recorre-se à limpeza alcalina para eliminar o *fouling* orgânico (Veolia, 2022).

3.6.10. Armazenagem/Cloragem (Cisterna 6)

Por fim, a água é armazenada na cisterna 6, onde se efetua a cloragem pela adição de hipoclorito de sódio (NaOCl).

Na parte superior desta cisterna existe um sensor de nível que permite controlar o abastecimento desta água ao processo industrial e também definir a lógica de funcionamento da etapa anterior (OI 5 e 7). Além disso, permite avaliar a necessidade de adição de água da rede pública (SMAS) à cisterna (Figura 3.1), caso a produção de água industrial não seja suficiente para satisfazer as necessidades dos respetivos consumidores, facto que implica obviamente um aumento significativo do consumo específico (KPI) e também da fatura paga pela empresa aos SMAS (Veolia, 2022).

3.7. ETAR

O CPLB possui uma ETAR, na qual se faz o tratamento da água residual resultante da atividade da empresa. Deste modo, os equipamentos que a compõem foram dimensionados de forma a garantir a plena capacidade de tratamento do afluente bruto quando a fábrica atinge a sua capacidade anual máxima prevista.

Na Tabela 3.7 encontram-se presentes os parâmetros referentes ao projeto da instalação para o afluente bruto (Veolia, 2020).

Tabela 3. 7 - Parâmetros relativos ao projeto da ETAR para o afluente bruto (Veolia, 2020).

Parâmetro	Valor
Caudal médio alimentação (m³/h)	250
Caudal máximo alimentação (m³/h)	500
Efluente tratado para reutilização (m³/h)/(%)	100/40
pH	6,0 – 13,0
CQO (mg O₂/L)	3700
CBO (mg O₂/L)	2300
SST (mg/L)	900
NT (mg/L)	70-80
PT (mg/L)	15-20

O processo de tratamento da água residual na ETAR consiste em quatro grandes etapas (Figura 3.7), que serão apresentadas nos próximos subcapítulos: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento biológico (processo anaeróbio e processo aeróbio) e, por fim, tratamento das lamas. Este tratamento pretende garantir que se cumprem os Valores Limite de Emissão (VLE) impostos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para as características do efluente tratado e parcialmente descarregado no rio Leça (Tabela 3.8).

Tabela 3. 8 - Condições de descarga do efluente final da ETAR.

Parâmetro	VLE (período húmido)	VLE (período de estiagem)
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
CQO (mg O₂/L)	125	100
CBO (mg O₂/L)	25	25
SST (mg/L)	50	50
NT (mg/L)	10	8
PT (mg/L)	8	6

3.7.1. Tratamento preliminar

O tratamento preliminar consiste numa sequência de operações unitárias destinadas a remoção de sólidos grosseiros, areias, gorduras e ainda, por vezes, uma equalização de caudais e de carga poluente. Esta etapa tem como objetivo proteger os órgãos e processos

de tratamento seguintes, bem como evitar obstruções dos circuitos hidráulicos e contaminações das águas e lamas, permitindo, desta forma, uma maior eficiência na sequência de tratamento. As operações unitárias que, geralmente, podem ser combinadas ao nível do tratamento preliminar são: a gradagem e/ou tamisação, a equalização, o desarenamento e a remoção de óleos e gorduras.

No caso SBG, a fase do tratamento preliminar permite a proteção do equipamento instalado a jusante, bem como a preparação da água residual para o tratamento a jusante. Assim, pretende-se eliminar grandes sólidos, como garrafas, plásticos e cápsulas, sólidos abrasivos, como vidros e areia, óleo e outros materiais insolúveis, como rótulos e *drêche*.

Em primeiro lugar, a água residual atravessa uma grelha de barras, S001, para remoção de sólidos grosseiros. De seguida, é encaminhada para os tamisadores estáticos, S002 e S003, cujo principal objetivo é a remoção de sólidos finos, como rótulos, *drêche* e cápsulas, onde se faz injeção de água de serviço (RG). À saída destes equipamentos existem ainda dois transportadores de parafuso, S004 e S005, que removem os sólidos acumulados nos tamisadores (Veolia, 2020).

3.7.2. Tratamento primário

O tratamento primário consiste na remoção dos sólidos de menores dimensões e, geralmente, é realizado por sedimentação/decantação (Magalhães, 2010), por vezes assistida por coagulação/floculação.

Assim, do tratamento preliminar, a água segue para um floculador, S006, que tem como função promover a mistura efluente/floculante e depois para um decantador lamelar, T100, que remove sólidos finos, sendo armazenados nos tanques de lamas primárias que são posteriormente bombadas para o tanque de estabilização de lamas, B16, juntamente com o excedente das lamas do tratamento aeróbio.

A água proveniente do decantador T100 é direcionada para os tanques de homogeneização T201 e T202, cujo objetivo é a homogeneização e acidificação do efluente, pelo que se faz injeção de CO₂. Destes dois tanques encaminha-se o efluente para o tratamento biológico (processos aeróbio e anaeróbio) (Veolia, 2020).

3.7.3. Tratamento biológico

O tratamento biológico tem como objetivo a redução da matéria orgânica biodegradável dissolvida, ou em suspensão coloidal, que não foi removida até este nível de tratamento (Morais, 2022).

Processo anaeróbio (1ª fase)

O processo de digestão anaeróbia dá-se na ausência de oxigénio, num ambiente redutor. Nestas condições, a biomassa anaeróbia, sob a forma de grânulos, promove a transformação da matéria orgânica presente nas águas residuais em biogás, que é aproveitado pela empresa como combustível nas caldeiras. Este biogás é constituído principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), uma vez que é produzido por bactérias metanogénicas a partir de matéria orgânica solúvel sob a forma de ácidos gordos voláteis.

O efluente proveniente do tratamento primário segue para o tanque T300 que tem como função o seu condicionamento, promovendo também a sua desgaseificação. O efluente é condicionado com HCl ou NaOH para corrigir o pH e FeCl_3 para favorecer a granulação da biomassa. De seguida, dá-se então o tratamento anaeróbio no reator T400. No reator existem separadores, S401/2/3/4, que promovem a separação das fases líquida, gasosa e sólida, encaminhando-se as lamas para o devido tratamento (Veolia, 2020).

Processo aeróbio (2ª fase)

A fase de tratamento aeróbio ocorre através dum processo de lamas ativadas na presença de oxigénio e, por isso, num ambiente oxidante. Nestas condições, a biomassa aeróbia, sob a forma de flocos, promove a transformação da matéria orgânica em dióxido de carbono (CO_2) no estado gasoso e lamas excedentes.

Esta instalação consiste num reator retangular dividido em três compartimentos conectados, B11, B12 e B13. Todos os compartimentos são arejados e possuem agitação mecânica, no entanto apenas o B11 e o B13 possuem um canal de descarga, funcionando também como clarificadores/decantadores.

O regime de funcionamento dos compartimentos é cíclico, determinando a alternância da função dos mesmos como tanques de arejamento ou clarificadores. Cada ciclo tem

duas fases principais: na primeira, o B11 funciona como tanque de arejamento, enquanto o B13 funciona como clarificador; na segunda ocorre o oposto.

Durante o arejamento (B11/ B12 ou B12/B13) a biomassa é mantida em suspensão graças à ação dos agitadores mecânicos e ocorrem fenómenos de oxidação, nitrificação e desnitrificação. Na oxidação, os microrganismos alimentam-se da matéria orgânica carbonada libertando dióxido de carbono (CO_2). Na nitrificação as bactérias autotróficas alimentam-se da matéria orgânica azotada produzindo nitratos (NO_3^-). Por fim, na desnitrificação dá-se a remoção dos nitratos em condições de ausência de oxigénio livre (condições anóxicas) com libertação de azoto e dióxido de carbono (CO_2). Durante a clarificação (B11 e B13) a agitação é parada de modo a promover a separação da biomassa desenvolvida no reator, e o sobrenadante, ou seja, o efluente tratado é descarregado para o tanque B15 e posteriormente para o rio Leça.

De referir ainda que, com o objetivo de remover o fósforo total presente no efluente, adiciona-se cloreto de ferro (FeCl_3) à entrada do reator, tornando possível o cumprimento dos limites impostos pela licença de descarga (Veolia, 2020).

Em suma, este tratamento funciona como um tratamento secundário para a remoção da matéria orgânica e SST, e como terciário para a remoção de azoto e fósforo. A remoção de fósforo dá-se por via biológica, mas também por via química com a adição de sais de ferro.

3.7.4. Tratamento das lamas

A última fase é o tratamento das lamas, que se inicia no tanque de estabilização de lamas, B16. Nesse tanque a lama é mantida em suspensão e é arejada, com o objetivo de promover a sua oxidação total, de tal modo que se melhora a sua estabilidade e se reduz a quantidade de lama em excesso.

No espessador, B17, promove-se a concentração das lamas estabilizadas reduzindo assim o seu volume e, de seguida, nas centrífugas, Z001 e Z002, faz-se a desidratação mecânica das lamas. Por fim, as lamas desidratadas podem ser utilizadas para valorização dos solos agrícolas, graças às suas características fertilizantes e à sua baixa composição em metais pesados (Veolia, 2020).

Por fim, na Figura 3.7 encontra-se uma representação esquemática das etapas que constituem o processo de tratamento da água residual na ETAR.

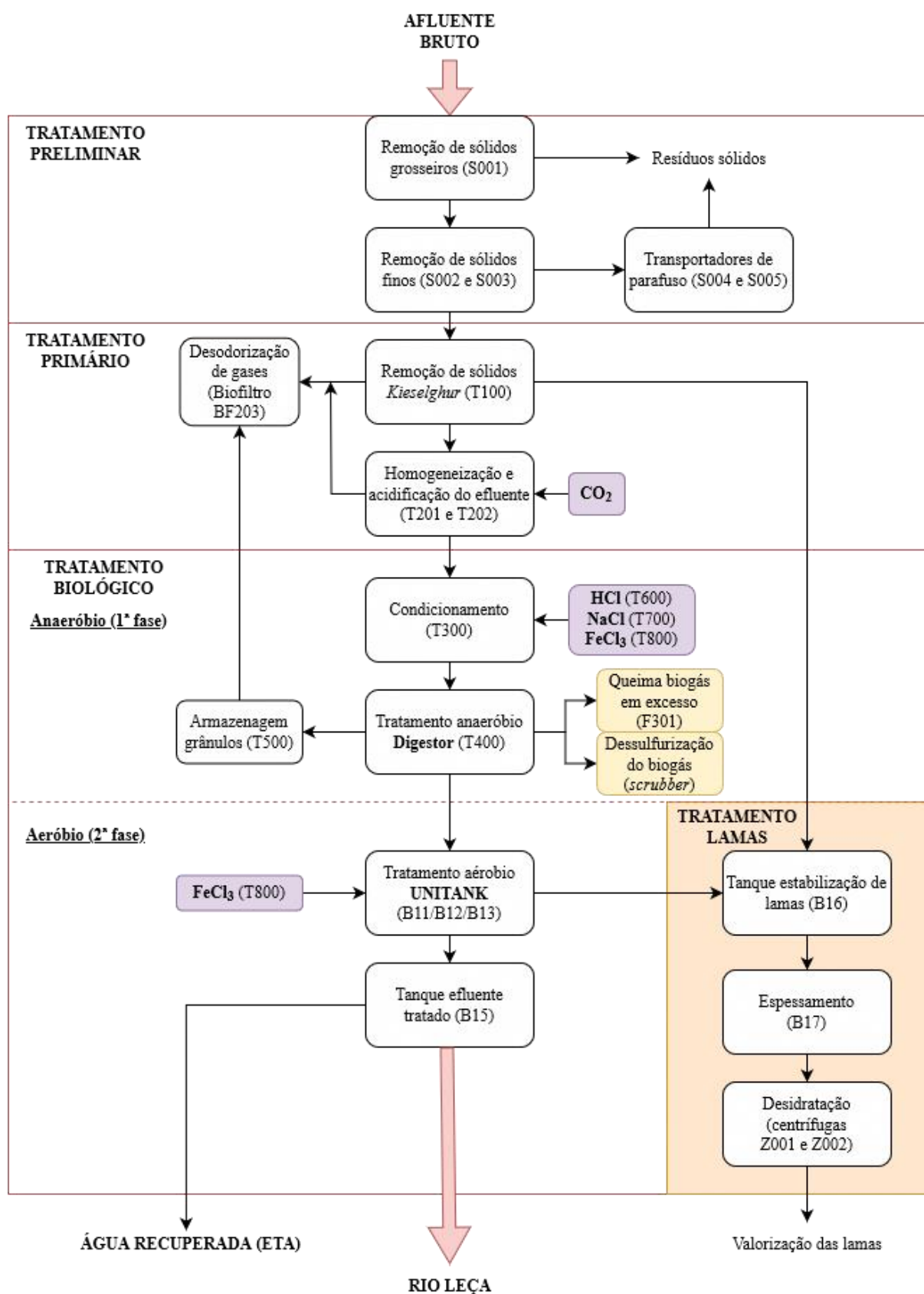


Figura 3. 7 - Fluxograma geral do processo de tratamento da água residual na ETAR do CPLB do Super Bock Group.

4. Metodologia

Neste capítulo expõem-se as metodologias que serviram de base para o cumprimento dos objetivos da dissertação. Aborda-se o conceito de balanço mássico, aplicado ao caso em estudo, e de *benchmarking*. Apresenta-se ainda a estratégia adotada para realizar a caracterização dos vários consumos da empresa, bem como as iniciativas identificadas previamente pela empresa, com o objetivo da redução dos mesmos. Depois, expõem-se as estratégias adotadas para contabilizar as lavagens referentes a alguns equipamentos de tratamento da água e respetivos reaproveitamentos. Ainda, numa perspetiva de otimizar os consumos, apresenta-se a ferramenta utilizada para a monitorização dos mesmos, o *Power BI*, bem como para acompanhar os respetivos modelos de previsão. Por fim, destaca-se a produção da água industrial, enumerando os problemas identificados e as iniciativas a implementar.

4.1. Balanço mássico à instalação

Os balanços mássicos têm por base a lei fundamental da conservação da massa. Estes balanços demonstram que a quantidade de massa que entra num determinado sistema, ou volume de controlo, é igual à soma da quantidade que sai com a quantidade acumulada. Tratam-se, portanto, de uma ferramenta muito importante para a compreensão de um dado processo industrial.

No caso do movimento de fluidos, trabalha-se geralmente com caudais e, não havendo reação química, a expressão geral de balanço de massa pode ser enunciada pela Equação 4.1 (Geankoplis, 1993).

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s + \frac{dm}{dt} \quad (4.1)$$

Na qual,

$\dot{m}_e$ – caudal mássico à entrada do sistema

$\dot{m}_s$ – caudal mássico à saída do sistema

$\frac{dm}{dt}$ – acumulação de massa no sistema por unidade de tempo

Ou, ainda, em termos de caudal volumétrico e considerando que, para líquidos, a massa volúmica é aproximadamente constante, obtém-se a Equação 4.2.

$$Q_e = Q_s + \frac{dV}{dt} \quad (4.2)$$

Na qual,

Q_e – caudal volumétrico à entrada do sistema

Q_s – caudal volumétrico à saída do sistema

$\frac{dV}{dt}$ – acumulação do volume no sistema por unidade de tempo

De referir ainda que, para determinado processo, podem ser admitidos dois tipos de condições de acordo com a forma como o mesmo varia com o tempo: estado estacionário ou estado transiente. No processo em estado estacionário os valores das variáveis mantêm-se constantes ao longo do tempo, pelo que a acumulação de massa no sistema é nula. Pelo contrário, em estado transiente, os valores das variáveis alteram-se ao longo do tempo, havendo assim acumulação de massa no sistema (Geankoplis, 1993).

De acordo com os pressupostos enunciados neste subcapítulo procedeu-se à realização do balanço global da ETA da empresa com o objetivo de avaliar a instalação e compreender o processo de tratamento. Assim, tal como demonstrado na Figura 4.1, as entradas do sistema considerado correspondem aos caudais das captações, SMAS e efluente proveniente da ETAR e as saídas aos caudais das águas de rede geral, do processo, de diluição, desmineralizada, descalcificada e industrial, que seguem para os respetivos consumidores da fábrica.

De salientar que, tendo em conta que a água industrial resulta dos reaproveitamentos da fábrica (efluente proveniente da ETAR), não é contabilizada como um consumo da empresa e, por isso, essas correntes são excluídas do balanço de massa geral à ETA.

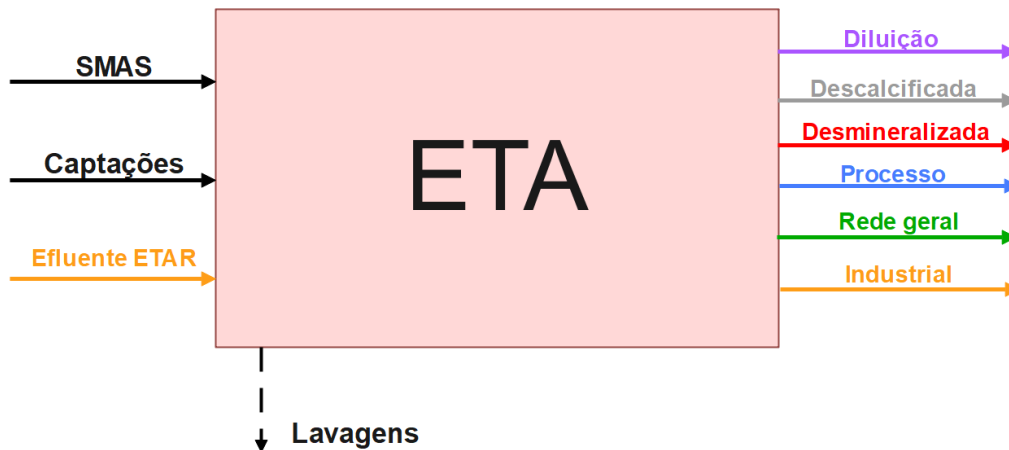


Figura 4. 1 - Fluxograma genérico da Estação de Tratamento de Água do SBG.

Desta forma, o balanço de massa geral realizado à ETA (Equações 4.3 a 4.5) tem como objetivo quantificar a quebra existente no sistema e descreve que a mesma é igual à diferença entre o somatório das correntes de entrada (SMAS e captações) e o somatório das correntes de saída (águas de rede geral, do processo, de diluição, desmineralizada e descalcificada). Considera-se também que a quebra do sistema corresponde às águas residuais não reaproveitadas, com origem nas lavagens dos equipamentos da ETA, eventuais perdas no sistema e, ainda, a acumulação no mesmo, que se revelou um processo em estado transiente, devido ao armazenamento de água em várias cisternas ao longo do sistema, tal como descrito também no capítulo 3.

$$\sum Q_e = \sum Q_s + \frac{dV}{dt} \Leftrightarrow \quad (4.3)$$

$$\Leftrightarrow (Q_{SMAS} + Q_{Cap.}) = (Q_{AD} + Q_{Descal.} + Q_{Desmin.} + Q_{AP} + Q_{RG}) + Q_{Quebra} \quad (4.4)$$

$$\Leftrightarrow Q_{Quebra} = (Q_{SMAS} + Q_{Cap.}) - (Q_{AD} + Q_{Descal.} + Q_{Desmin.} + Q_{AP} + Q_{RG}) \quad (4.5)$$

Na qual,

Q_{SMAS} – caudal volumétrico da água dos SMAS

$Q_{Cap.}$ – caudal volumétrico da água das captações

Q_{AD} – caudal volumétrico da água de diluição

$Q_{Descal.}$ – caudal volumétrico da água descalcificada

$Q_{Desmin.}$ – caudal volumétrico da água desmineralizada

Q_{AP} – caudal volumétrico da água de processo

Q_{RG} – caudal volumétrico da água de rede geral

Quanto à aquisição de dados, é efetuado diariamente o registo manual das contagens da instalação, por parte dos operadores das Centrais, isto é, os caudais e os volumes diários correspondentes às entradas e saídas da ETA:

- **stock água captada:** cisternas 11 e 12;
- **água captada:** furos AC02, AC07, AC13, AC17, AC19, AC01, AC26, AC27, AC28, AC30, AC31 e AC32;
- **água processo:** mini fábrica, adega, fabrico e instalação piloto;
- **stock água SMAS:** cisternas 21 e 22;
- **água SMAS:** entrada e respetivas cisternas;
- **água rede geral:** SMAS para cisterna 6, ETAR, mini fábrica, centrais, edifícios, rega, adega e enchimento (por linha);
- **água diluição:** Adega;
- **água desmineralizada total;**
- **água descalcificada total;**
- **produção água industrial:** efluente ETAR, produção das osmose 5 e 7.
- **consumo água industrial:** enchimento (por linha) e centrais.

Estes dados diários são armazenados num documento *Excel* e, posteriormente, são agrupados mensalmente e anualmente. Assim, recorreu-se a estes dados de registo, a partir de 2019, separando-os em entradas e saídas do sistema, de modo a realizar o balanço global à ETA, tal como se apresenta posteriormente no subcapítulo 5.1.

4.2. *Benchmarking* e caracterização de consumos

O *Benchmarking* trata-se de uma ferramenta de melhoria contínua que torna possível uma aplicação mais disciplinada por parte das empresas da procura pela excelência através de melhorias operacionais. O principal objetivo é permitir que a empresa possa diminuir as diferenças entre o seu desempenho atual e o desempenho superior existente no mercado (van der Tuin, 2021). Segundo *van der Tuin* (2021) no âmbito de vários

estudos anteriormente realizados sobre a poupança de água, os valores de referência (*benchmarks*) são utilizados para identificar os processos com potencial para melhorias.

Para realizar o *benchmarking*, podem ser utilizados indicadores de desempenho, *Key Performance Indicator* (KPI) que se tratam de valores mensuráveis e que pretendem demonstrar a eficácia com que uma empresa está a alcançar os seus principais objetivos, sendo assim uma ferramenta de avaliação do seu progresso e sucesso no cumprimento dos objetivos estipulados (Klipfolio, 2021).

Tal como já referido, as indústrias cervejeiras são utilizadores intensivos de água já que a cerveja é maioritariamente constituída por água e, como tal, o impacto que esta matéria-prima tem na sua qualidade e no seu custo de produção é elevado. Além disso, as preocupações com a sustentabilidade são cada vez mais notórias na realidade atual, pelo que se torna fundamental assegurar o mínimo desperdício deste recurso pela empresa. De modo a avaliar os consumos de água é então utilizado um indicador de desempenho que, neste caso, reflete o volume de água consumida por volume de produto produzido (hL/hL), num dado período, pelo que se espera com este trabalho a diminuição do KPI avaliado.

Assim, para realizar a caracterização do consumo de água, explorada no subcapítulo 5.2, pode recorrer-se aos dados de registo, neste caso a partir de 2019, e discriminá-los por tipo de água, bem como por área da fábrica, de modo a avaliar, em primeiro lugar, o tipo de água mais utilizada pela empresa e as implicações económicas associadas e, em segundo lugar, a área que representa o maior consumidor de água. Além disso, interessa obviamente quantificar o consumo específico total do SBG, que resulta do somatório dos vários consumidores.

4.3. Iniciativas identificadas

Após o levantamento de todo o sistema produtivo dos vários tipos de água e a caracterização do consumo dos mesmos, foi feita a análise da informação relativamente ao projeto *Waste Less Water* já existente na empresa. Deste modo, no diagrama da Figura 4.2 encontram-se representadas várias iniciativas identificadas previamente pelo SBG, sendo que dessas, no âmbito desta dissertação, optou-se por explorar (subcapítulo 5.3) unicamente as que se encontram destacadas a tracejado: “AI ETAR”, “AI Rega”, “Monitorizar consumos”, “Otimização da produção de AI” e “Aumento da capacidade de produção de AI”.

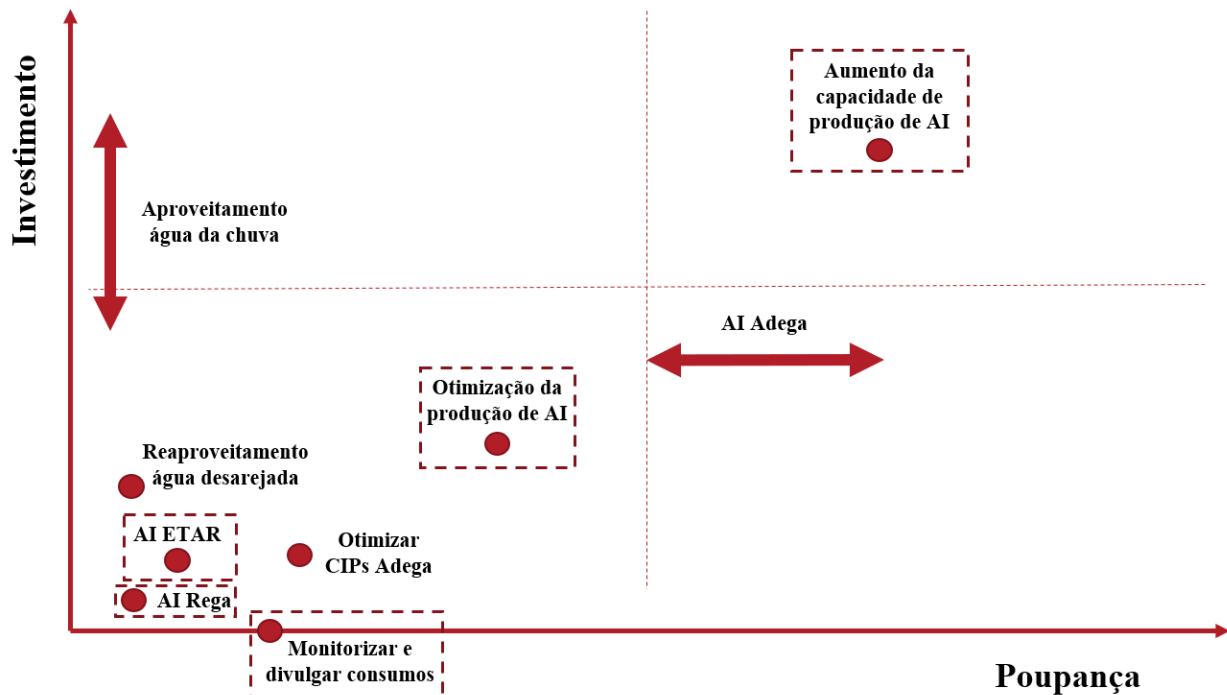


Figura 4. 2 - Iniciativas identificadas pelo SBG no âmbito do projeto Waste Less Water.

Assim, as do quadrante superior direito implicam um grande investimento, mas também resultam uma grande poupança, o que significa que apresentam um bom potencial, no entanto necessitam de aprovação superior e, por isso, revelam-se iniciativas mais morosas de implementar. A empresa decidiu investir na iniciativa contida nesse quadrante - “Aumento da capacidade de produção de AI” - , encontrando-se este projeto em fase de avaliação de propostas aquando da realização desta dissertação.

Já as do quadrante inferior direito resultam numa grande poupança, requerendo um investimento mais baixo, pelo que se tratam de iniciativas que, pelo seu rápido retorno, se tornam interessantes.

Depois, observa-se que o quadrante superior esquerdo se revela o menos interessante, já que, além do aproveitamento aí apresentado depender da disponibilidade sazonal, seriam necessários novos equipamentos e redes extensas para as bombagens requeridas, pelo que não é uma prioridade.

Por fim, no quadrante inferior esquerdo verificam-se iniciativas com baixo investimento, mas que têm potencial de representar poupanças significativas a longo prazo.

4.4. Tratamento da água e reaproveitamentos

O Super Bock Group é reconhecido pelos seus ambiciosos compromissos ambientais. Como tal, e de forma a serem reduzidos os consumos de água, foram sendo desenvolvidos projetos com base no princípio dos 3R's:

- **Reduzir** os consumos de água por via da otimização do processo;
- **Reutilizar** água que já tenha sido utilizada numa primeira fase;
- **Reciclar** – aplicar tratamento que permite aproveitar água, no caso de impossibilidade de aplicação dos 2R's anteriores.

Esta metodologia deve ser aplicada sequencialmente e em todas as fases do processo, quer ele seja primário, isto é, para a produção de cerveja, ou secundário - por exemplo, no tratamento de água.

Ora, como apresentado ao longo do capítulo 3, no tratamento de água existem perdas inerentes às regenerações e lavagens dos sistemas de filtração. O SBG, seguindo a filosofia acima descrita, optou por, ao longo do tempo, implementar a reutilização/reciclagem da água destas lavagens e regenerações, de forma a reduzir o consumo de água. Com o crescimento da produção ao longo dos anos, torna-se agora necessário voltar a avaliar o sistema e perceber, por um lado, se existem novos reaproveitamentos a implementar e, por outro, se existem reaproveitamentos passíveis de melhorias.

Deste modo, de acordo com as informações relativas às lavagens dos equipamentos demonstradas ao longo dos subcapítulos 3.2 a 3.5, foi possível observar a formação de água residual após cada ciclo de filtração. Assim, surgiu a necessidade de desenvolver estratégias para contabilizar os volumes das lavagens efetuadas, bem como compreender como acontecem os respetivos reaproveitamentos.

Na Tabela 4.1, apresenta-se o resumo das fases de lavagem dos filtros em estudo, bem como o respetivo destino da água residual de cada fase.

Tabela 4. 1 - Resumo das fases de lavagem e respetivo destino da água residual dos filtros em estudo.

Equipamento	Fase de lavagem	Destino
OFSYs 1, 2 e 3	Retrolavagem 1	Cisterna decantadora
	Retrolavagem 2	
	Lavagem final	
FC UR120-1 e 2	Retrolavagem	Cisterna decantadora
	Lavagem final	Cisterna 12
FC UR100-1 e 2	Retrolavagem total	Esgoto
	Lavagem final	Cisterna decantadora
Descalcificadores 1 e 2	Retrolavagem	Esgoto
	Regeneração	
	Lavagem final	
FC UR84	Retrolavagem	Cisterna decantadora
	Lavagem final	Cisterna 2
FC UR72-1 e 2	Retrolavagem	Esgoto
	Lavagem final	

Quanto aos ensaios da análise da lavagem dos filtros, foi necessário ter em consideração os locais onde existiam medidores de caudal de modo a facilitar a quantificação dos volumes e, nos casos em que isso não foi possível, adotaram-se outras estratégias que serão exploradas de seguida. Além disso, importa referir que, uma vez que os filtros entram em lavagem automática após determinado tempo de filtração, houve a necessidade de forçá-las no *software* de controlo industrial (SCADA - *Supervisory control and data acquisition*), *WinCC*, para realizar os ensaios de forma planeada. Assim, avaliou-se o melhor momento para os realizar, já que, em determinados casos, a lavagem dos filtros implica a interrupção da alimentação da água filtrada a outras fases de tratamento ou aos consumidores.

Relativamente aos filtros OFSYs 1, 2 e 3 (Figura 3.2), verifica-se a existência de um contador de caudal à entrada de cada um deles que mede tanto os caudais das várias fases de lavagem, bem como o caudal de serviço, que é igual a 50 m³/h. Foi possível forçar a lavagem de um deles, nomeadamente do OFSY 3 e, de seguida, efetuou-se a recolha, no *WinCC*, dos caudais desse ensaio. Assim, e sabendo o tempo de cada uma das fases de lavagem, calculou-se o volume de água gasto nas várias etapas.

Por fim, sabendo os caudais das várias fases de lavagem e o tempo total de cada lavagem, agrupou-se os dados históricos ao longo de, aproximadamente, um mês, nomeadamente entre 28 de janeiro e 24 de fevereiro, e determinou-se o número de lavagens mensais para cada um dos OFSYs, tendo em conta que são equipamentos iguais ao único analisado (Anexo B.1).

Quanto aos filtros de carvão UR120 (Figura 3.3), os caudais são contabilizados como o somatório dos caudais de cada um dos OFSYs, medidos pelos caudalímetros já referidos. Assim sendo, facilmente se explica que, para a realização do ensaio, foi necessário forçar a paragem da operação de filtração de um deles e o início da lavagem do outro. Foi também necessário garantir que as cisternas 4 e 5 não necessitavam de água filtrada, uma vez que a operação de filtração foi interrompida. Após o ensaio efetuou-se a recolha, no *WinCC*, dos caudais e, sabendo o tempo de cada uma das fases de lavagem, calculou-se o volume de água gasto nas várias etapas.

Por fim, a estimativa do número de lavagens mensais para cada um dos filtros UR120 não foi feita com base no histórico dos caudais das fases de lavagem, já que pela inexistência de caudalímetros à entrada de cada um deles não é possível identificar os caudais alimentados aos dois filtros individualmente. Assim, essa estimativa teve por base o facto de os filtros de carvão entrarem em lavagem automática ao fim de 22h de filtração e, portanto, na contabilização do tempo de trabalho dos mesmos ao longo de, aproximadamente, um mês, nomeadamente entre 28 de janeiro e 24 de fevereiro, considerando-se também o tempo total de cada lavagem (Anexo B.2).

Depois, no que diz respeito aos filtros de carvão UR100 (Figura 3.4), verifica-se que não existem medidores de caudal à entrada e, por isso, aquando da fase de operação, considera-se que é igual ao somatório dos caudais de saída, isto é, dos consumidores de água do processo, nomeadamente fabrico do mosto, arrefecimento do mosto, instalação piloto e mini fábrica. De salientar que estes filtros estão quase sempre em funcionamento, já que esta água integra o processo produtivo e, por isso, foi essencial conciliar este ensaio com a paragem do fabrico que estava planeado para a semana 12 do ano de 2023. Nessas condições não há consumidores, o que permitiu interromper a operação de um dos filtros ao mesmo tempo que se forçou a lavagem do outro. Além disso, dada a falta de caudalímetros já referida, adotou-se uma estratégia de contabilização da água de lavagem que passou por fechar todas as entradas e restantes saídas das cisternas 4 e 5, o que permitiu quantificá-la pelo registo manual das diferenças de nível destas mesmas cisternas recorrendo, mais uma vez, ao *WinCC*.

Por último, para a estimativa do número de lavagens mensais para cada um dos filtros UR100 recorreu-se à mesma estratégia utilizada para os filtros UR120, tendo em conta que entram em lavagem automática ao fim de 990h de filtração e que os dados históricos, recolhidos entre 27 de janeiro e 27 de fevereiro, do caudal de serviço contemplam o somatório dos caudais dos consumidores (Anexo B.3).

Quanto aos descalcificadores (Figura 3.5), sabe-se que existe um contador que totaliza o caudal alimentado aos dois descalcificadores, havendo ainda um à entrada do filtro de carvão UR84 (Figura 3.5). Assim, é possível quantificar o caudal das fases de lavagem, forçando-se a paragem de um dos descalcificadores e a lavagem do outro. De referir que foi também necessário conciliar este ensaio com um dia de menor consumo por parte da fábrica (30/03/2023) para garantir que um dos descalcificadores se mantinha parado. Por fim, a estimativa do número de lavagens mensais, entre 28 de janeiro e 27 de fevereiro, para cada um dos descalcificadores baseou-se no facto destes equipamentos entrarem em lavagem automática após filtrarem 1500 m³ de água, no caso do descalcificador 1, e 1000 m³, no caso do descalcificador 2.

Já em relação ao filtro de carvão UR84, contabilizou-se o caudal da água das fases de lavagem garantindo que a válvula que alimenta os consumidores estava fechada enquanto se forçou a lavagem do equipamento. Mais uma vez, fez-se a estimativa do número de lavagens mensal, entre 28 de janeiro e 27 de fevereiro, tendo em conta que este filtro entra em lavagem automática após 168h de filtração.

Por fim, realizou-se o ensaio para os filtros de carvão UR72 (Figura 3.6), nos quais não existem medidores de caudal à entrada e, por isso, aquando da fase de operação, considera-se que é igual ao somatório dos caudais dos consumidores de água de diluição. Uma vez que esta água integra o processo produtivo, foi essencial conciliar este ensaio com uma paragem das necessidades da adega, o que permitiu interromper a operação de um dos filtros ao mesmo tempo que se forçou a lavagem do outro. Ainda, dada a falta de caudalímetros já referida, adotou-se uma estratégia de contabilização da água de lavagem que consistiu no registo manual do variador de velocidade e respetiva pressão da bomba que alimenta os filtros (M20.1), recorrendo ao *WinCC*, e, posteriormente, na consulta da curva característica da mesma para determinar o caudal debitado pela mesma.

Ainda, para a estimativa do número de lavagens mensais para cada um dos filtros UR72 recorreu-se à mesma estratégia já referida, tendo em consideração que entram em lavagem automática ao fim de 500h de filtração e que os dados históricos, recolhidos

entre 22 de fevereiro e 22 de março, do caudal de serviço corresponde ao caudal alimentado à adega.

4.5. Monitorização e divulgação de consumos

Como referido ao longo da dissertação, uma das ferramentas fulcrais na otimização de consumos de água é a monitorização e o controlo em tempo real das variáveis. Para isso, pode recorrer-se a uma ferramenta de *Business Intelligence* desenvolvida pela *Microsoft* que é designada de *Power BI*.

O *Power BI* permite a visualização de dados de forma gráfica e ilustrativa, bem como transformá-los em relatórios interativos, facilitando a análise e a tomada de decisão. No contexto industrial é uma solução eficaz para a monitorização e divulgação de consumos, graças às suas vantagens em termos de análise e gestão de dados.

As vantagens desta ferramenta passam pela sua capacidade de integração de várias fontes de dados e de fornecer as informações requeridas em tempo real. Além disso, neste caso, é possível identificar rapidamente os picos de consumo e, assim, tomar medidas imediatas que permitem reduzir os custos e aumentar a eficiência do sistema. Ainda, pode-se realizar uma análise de previsão destes mesmos consumos, permitindo antecipar tendências futuras com base em dados históricos.

O *Power BI* possibilita ainda a divulgação e a partilha dos relatórios com todas as pessoas da empresa, pelo que permite aumentar a transparência e envolver toda a equipa na procura de melhorias na eficiência.

Assim, para a obtenção dos resultados apresentados no subcapítulo 5.5, criou-se um relatório com base em dados históricos do consumo dos vários tipos de água e dos volumes de produção, a partir de 2020. Primeiro, organizou-se uma base de dados diários com os valores de consumo de água, divididos por consumidores e tipos de água, e uma base de dados diários referente aos volumes de produção. Depois de criadas em *Excel*, foi possível importá-las para o *Power BI* e, posteriormente, foi necessário organizar os dados numa estrutura adequada para a análise temporal e, para isso, utilizaram-se os recursos do *Power BI* para configurar corretamente as informações de data presentes nos dados.

Nesta ferramenta é também possível efetuar cálculos com os dados importados através da criação de “medidas” e “colunas calculadas”, a partir de fórmulas DAX (*Data Analysis Expressions*) – biblioteca de funções e operadores. As medidas são fórmulas que realizam cálculos com os dados em tempo real como, por exemplo, somas, médias ou

contagens. As colunas calculadas realizam esses cálculos por linha, de forma análoga aos cálculos em *Excel*, e são armazenadas nas tabelas de dados.

A seguir, foi necessário estabelecer relações entre as diferentes tabelas, o que permite combinar as informações e realizar análises cruzadas, neste caso, para o mesmo calendário. Por fim, construíram-se os gráficos e as restantes visualizações, agregando os dados diários em períodos mais amplos, como semanas, meses e anos, permitindo diferentes análises das tendências.

4.6. Modelos de previsão de consumos

Os modelos de previsão são ferramentas importantes para as empresas que tencionam otimizar os seus processos com simultânea redução de custos. Neste caso, são modelos que utilizam dados históricos de consumo para prever o comportamento futuro do mesmo, permitindo, com isso, que a empresa seja capaz de responder a possíveis variações.

Ora, a regressão linear é um método matemático comumente utilizado na elaboração de modelos de previsão de consumos, já que descreve a relação entre variáveis recorrendo à equação de uma reta (Equação 4.7) (Almada-Lobo, 2007).

$$y = b_0 + b_1 x \quad (4.7)$$

Onde,

y – variável dependente;

x – variável independente;

b_0 – ordenada na origem;

b_1 – declive da reta.

Em primeiro lugar, um modelo de regressão linear simples descreve a relação entre duas variáveis, X , ou independente, e Y , ou dependente, através da Equação 4.8 (Almada-Lobo, 2007).

$$Y_n = \beta_0 + \beta X_n + E_n \quad (4.8)$$

Na qual,

(X_n, Y_n) – n -ésima observação de (X, Y) , $(n=1, \dots, N)$;

β – parâmetro fixo a estimar;

E_n – erro aleatório associado a Y_n .

Os valores X_n não estão associados a quaisquer erros, devendo ser encarados como constantes e, assim sendo, os erros considerados no modelo de regressão linear incidem sobre os valores Y_n .

Em segundo lugar, apresenta-se o modelo de regressão linear múltipla que se trata de uma extensão do modelo de regressão linear simples e que permite descrever a relação entre um conjunto de variáveis independentes, X_j ($j=1, \dots, J$), e uma variável, Y , dependente. O principal objetivo deste último é elaborar um modelo que se ajuste melhor aos dados comparativamente com o primeiro referido (Almada-Lobo, 2007).

Os parâmetros da regressão podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados e, no caso desta dissertação, recorre-se à função de regressão incluída no *Analysis ToolPak* do *Microsoft Excel*. Como tal, essa ferramenta executa a análise de regressão linear, utilizando igualmente o método dos mínimos quadrados, e permite analisar como uma única variável dependente é afetada pelos valores de uma (regressão linear simples) ou mais variáveis independentes (regressão linear múltipla). Além disto, a ferramenta também calcula o quadrado do coeficiente de correlação amostral, o coeficiente de determinação, ou R^2 , que representa a forma como a equação resultante da análise de regressão explica a relação entre as variáveis. Este coeficiente varia entre 0 e 1, e quanto maior ele for melhor será a correlação entre as variáveis.

Neste caso, pretende-se criar um modelo de previsão global que, com dados históricos de consumo dos vários tipos de água, permita estimar o consumo futuro de água para diferentes níveis de produção, principalmente no que diz respeito aos períodos de maior consumo.

Assim, determinaram-se vários modelos de previsão de acordo com as diferentes áreas da fábrica, de tal modo que o modelo global resultou da combinação dos vários modelos.

Primeiro, organizaram-se, no *Excel*, os dados mensais (2019 a 2022) de consumo, de acordo com os consumidores e tipos de água, e de produção, referente aos volumes de fabrico do mosto, volumes de cerveja referentes à adega e volumes de enchimento. Na Tabela 4.2 apresentam-se as variáveis independentes e dependentes, volumes em m^3 , consideradas para os modelos de previsão referentes às áreas: Fabrico, Adega e Enchimento.

Tabela 4. 2 - Variáveis independentes e dependentes consideradas para os modelos de previsão: Fabrico, Adega e Enchimento.

Modelo de previsão	Variáveis independentes (m ³)	Variável dependente (m ³)
Fabrico	Fabrico mosto	Consumo Fabrico (AP)
Adega	Cerveja filtrada	Consumo Adega (RG + AD)
Enchimento	Linha 1	Consumo Enchimento (RG + AI)
	Linha 2	
	Linha 3	
	Linha 5	
	Linha 6	
	Barril (Linhas 4 e 7)	
	Linha Vini	
	Mini fábrica	

Após organização, recorreu-se à função de regressão incluída no *Analysis ToolPak* do *Excel* e determinaram-se os coeficientes das equações que melhor se ajustam aos dados históricos:

- **Fabrico:** modelo de regressão linear **simples** que descreve a relação entre o volume de fabrico de mosto e o consumo de água nesta área;
- **Adega:** modelo de regressão linear **simples** que descreve a relação entre o volume de cerveja filtrada e o consumo de água nesta área;
- **Enchimento:** modelo de regressão linear **múltipla** que descreve a relação entre o conjunto dos volumes de enchimento – linhas 1, 2, 3, 5, 6, barril, vini e mini fábrica – e o consumo de água nesta área.

Uma vez que os modelos de previsão relativos às outras áreas/consumidores – Centrais, Mini fábrica, Edifícios e Rega – demonstraram que a correlação entre essas variáveis não era favorável, decidiu considerar-se o somatório dos valores médios mensais (média dos valores de consumo referentes ao mesmo mês para cada ano), de modo a incluir todas as áreas no modelo de previsão de consumo global (Tabela 4.3).

Tabela 4. 3 - Demonstração dos valores médios mensais utilizados para o modelo de previsão de consumo global.

Área/Consumidor	Valores médios mensais (m ³)
Centrais	Consumo água da rede geral (RG)
	Consumo água descalcificada
	Consumo água desmineralizada
	Consumo ETAR (RG)
	Consumo água SMAS na Cisterna 6
	Consumo água industrial (AI)
Mini fábrica	Consumo Mini fábrica (RG + AP)
Edifícios	Consumo Edifícios (RG)
Rega	Consumo Rega (RG)

Posto isto, o modelo de previsão do consumo global, apresentado na Figura 5.16 do subcapítulo 5.6, resulta da combinação dos modelos de previsão determinados – Fabrico, Adega e Enchimento – e dos consumos médios mensais dos restantes consumidores – Centrais, Mini fábrica, Edifícios e Rega –, tal como se apresenta no Anexo C.2.

Determinou-se também um modelo de previsão que descreve a relação entre a produção total e o volume de água SMAS que entra no sistema de tratamento (Cisternas 21 e 22). Na Tabela 4.4 apresentam-se as respetivas variáveis independente e dependente.

Tabela 4. 4 - Variáveis independente e dependente consideradas para o modelo de previsão para a água SMAS.

Modelo de previsão	Variável independente (m ³)	Variável dependente (m ³)
SMAS	<u>Produção total:</u> <u>Volumes de enchimento:</u> linhas 1, 2, 3, 5, 6, barril, vini e mini fábrica; <u>Volumes na Adega:</u> cisternas e beer drive.	Volume de entrada de água SMAS

Ainda, obteve-se um modelo de previsão que descreve a relação entre a produção total e o volume total de água industrial consumido (Figura 5.18, subcapítulo 5.6). Para isso, calculou-se um novo modelo de previsão de consumo global, de forma análoga ao

explicado anteriormente, mas excluindo a água industrial (Enchimento – Tabela 4.2 e Centrais – Tabela 4.3). Assim, o modelo de previsão do consumo de água industrial resultou na diferença entre o modelo global e o modelo global sem AI, isto é, o consumo previsto é igual à diferença entre o consumo previsto em ambos os modelos referidos (Anexo C.2).

Por fim, e após obtenção dos modelos de previsão com base em variáveis mensais, importa referir que é necessário monitorizar regularmente o respetivo desempenho e ajustá-los, sempre que necessário, de modo a garantir a qualidade das previsões.

A utilização destes modelos de previsão em conjunto com o *Power BI* (subcapítulo 5.6) pode contribuir para a otimização dos consumos de água, a redução de custos e a melhoria contínua do processo. Para isso, aplicaram-se os modelos criados à base de dados diários, importada e previamente organizada no *Power BI*, tal como já explicado no subcapítulo 4.5, sendo possível agregá-los em semanas, permitindo assim uma análise regular dos mesmos.

5. Resultados e discussão

Este capítulo destina-se à apresentação dos resultados obtidos ao longo da dissertação, bem como à respetiva discussão. Assim, realiza-se o balanço mássico à instalação, faz-se a caracterização dos consumos de água da empresa e efetua-se o *benchmarking* com outras indústrias cervejeiras. Depois, analisa-se a produção da água industrial, e apresenta-se e discute-se o acompanhamento das iniciativas de melhoria em implementação. Expõem-se também os resultados obtidos nos ensaios de contabilização dos volumes de lavagem dos equipamentos de tratamento da água em estudo e respetivos reaproveitamentos. Por fim, com o objetivo de otimização dos consumos, apresentam-se e discutem-se os relatórios criados em *Power BI* que permitem analisar, em tempo real, os dados e compará-los com os respetivos modelos de previsão de consumo.

Por motivos de confidencialidade não são apresentados, de forma explícita, os volumes de produção e enchimento de cerveja, os volumes de produção de mosto nem os volumes de consumo de água. Assim, todos os resultados são apresentados sob a forma de KPI ou percentagem ou, nos casos em que o objetivo é unicamente a observação do comportamento gráfico, os respetivos valores nos eixos são omitidos.

5.1. Determinação do balanço mássico à instalação

De acordo com os pressupostos apresentados no subcapítulo 3.1 relativamente ao centro de produção do SBG, procedeu-se à realização do balanço global da ETA da empresa com o objetivo de quantificar a quebra existente no sistema. Para isso, recorreu-se aos dados de registo, agrupados mensalmente a partir de 2019, separando-os em entradas e saídas do sistema e organizando-os em tipos de águas de acordo com os consumidores/áreas, tal como se apresenta na Tabela 5.1.

Tabela 5. 1 - Entradas e saídas consideradas para o balanço de massa global à ETA.

Tipo de água		Descrição/Área
Entradas	SMAS	Adquirido
	Captações	AC02; AC07; AC13; AC17; AC19; AC01; AC26; AC27; AC28; AC30; AC31 e AC32
Saídas	Água da rede geral	SMAS (C6)
		Adega
		Mini fábrica
		ETAR
		Edifícios
		Rega
		Centrais
		Enchimento
	Água do processo	Fabrico
		Mini fábrica
		Instalação piloto
	Água de diluição	Adega
	Água desmineralizada	Central térmica
	Água descalcificada	Aproveitamentos térmicos

De seguida, a quebra do sistema foi calculada através da diferença entre o somatório das correntes de entrada e o somatório das correntes de saída. Estes resultados foram obtidos para uma referência temporal mensal e estão representados no gráfico da Figura 5.1, ao longo dos últimos quatro anos.

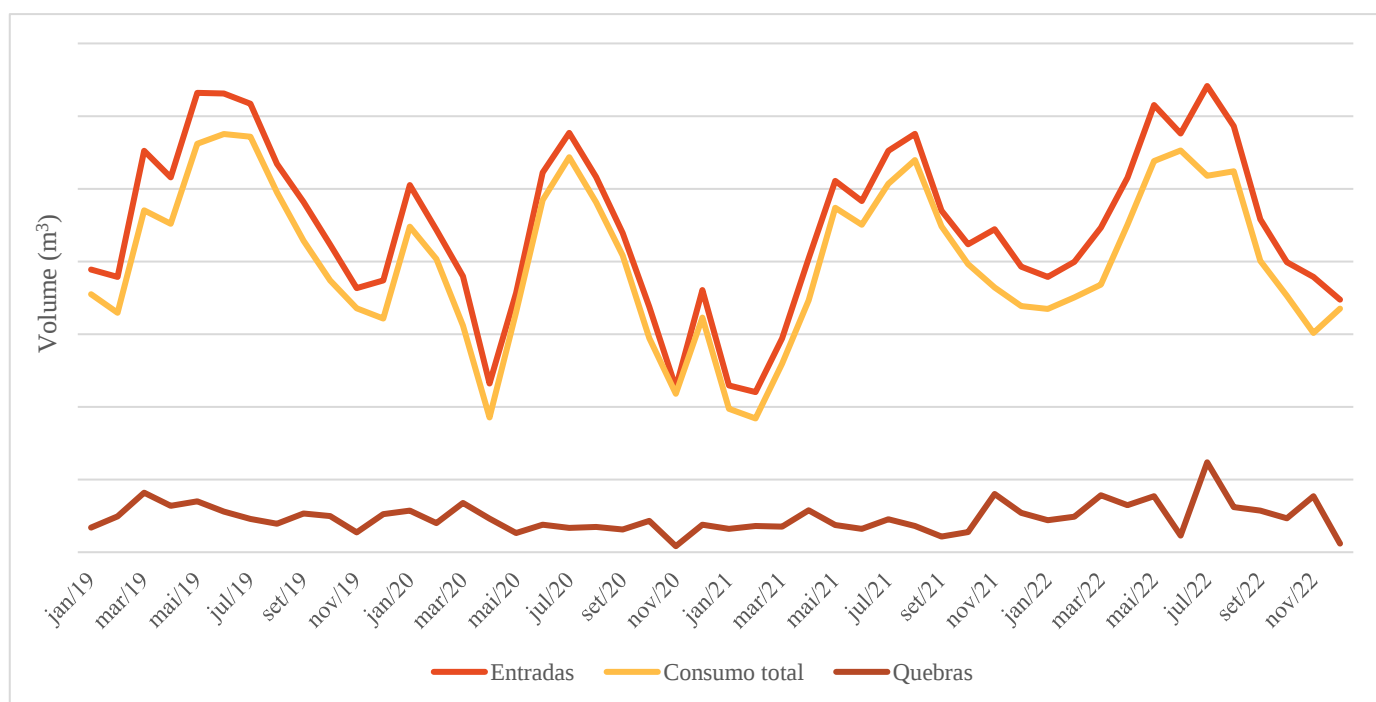


Figura 5. 1 - Balanço mássico global à ETA para os anos de 2019, 2020, 2021 e 2022.

Pela Figura 5.1, é possível observar que o consumo total de água apresenta um comportamento sazonal que se reflete num maior consumo durante a época de verão, nomeadamente entre maio e setembro. Este consumo deve-se ao aumento da produção no respetivo período temporal, que é resultado da maior procura de mercado.

Observa-se também que as diferenças entre as entradas na estação de tratamento e o consumo total mensal de água são, em certos meses, bastante notórias. Ao longo dos quatro anos apresentados a quebra do sistema varia, sendo que se verificou o menor valor em novembro de 2020 e o maior em julho de 2022. A quebra impacta bastante o KPI da empresa, integrando uma parte significativa do mesmo, como será apresentado no subcapítulo 5.2.

Admitindo-se que a quebra do sistema corresponde às águas residuais não reaproveitadas formadas durante as lavagens dos equipamentos da ETA, eventuais perdas do sistema e a acumulação do mesmo, pretende-se a criação de propostas de melhoria ao sistema atual, com vista a minimizar a quebra e, consequentemente, o KPI.

5.2. Análise *benchmarking* e caracterização do consumo de água

A segunda etapa deste trabalho foi a caracterização do consumo dos diferentes tipos de água, com base nos consumos totais da fábrica, bem como na respetiva produção total. Para isso, utiliza-se um KPI que é definido como o volume de água consumida por volume de produto produzido (hL/hL), num dado período.

Considerou-se novamente o balanço global da ETA, enunciado no subcapítulo 4.1, tendo em conta que a água industrial resulta dos reaproveitamentos da fábrica (efluente proveniente da ETAR) e, logo, não afeta o KPI, não sendo contabilizada no mesmo, nem considerada como um consumo da empresa.

Em primeiro lugar, apresentam-se, na Figura 5.2, os consumos anuais, expressos em KPI, ao longo dos últimos quatro anos, bem como os objetivos da empresa para os próximos dois anos.

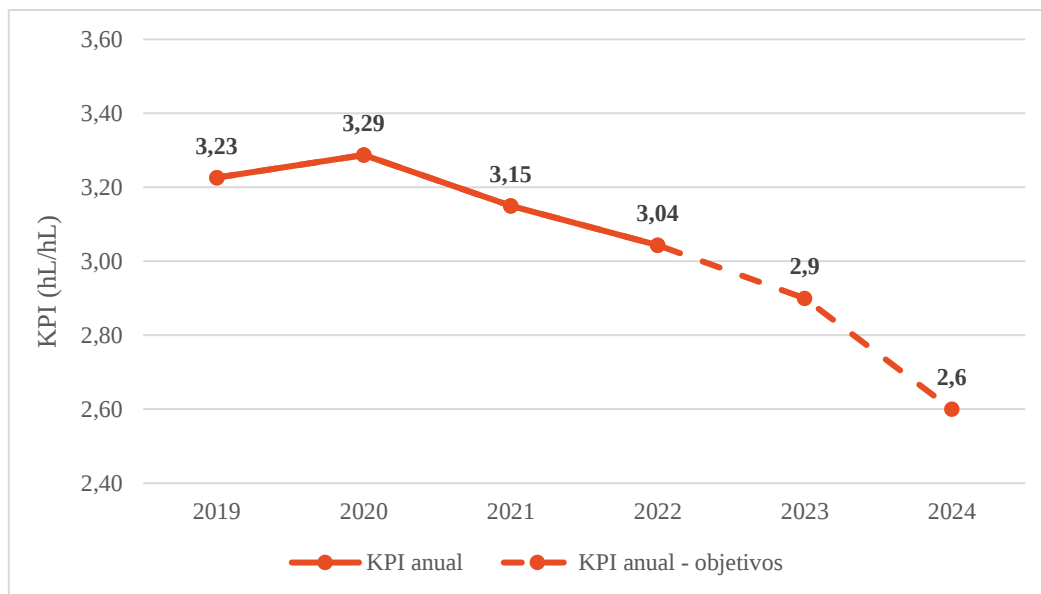


Figura 5. 2 - Consumos anuais totais, expressos em KPI, para 2019, 2020, 2021 e 2022 e objetivos para 2023 e 2024.

Pelo gráfico da Figura 5.2, verifica-se claramente a diminuição do KPI ao longo dos últimos três anos, sendo expectável que essa tendência continue nos próximos anos, sendo também visíveis os objetivos a alcançar pela empresa. Além disto, torna-se também interessante realizar o *benchmarking* que permite a comparação entre o desempenho do SBG e outras indústrias cervejeiras. No gráfico da Figura 5.3 apresentam-se os KPIs dos últimos quatro anos para diferentes indústrias conhecidas, nomeadamente a Carlsberg, a AB InBev e a Heineken, sendo possível fazer a comparação com o SBG.

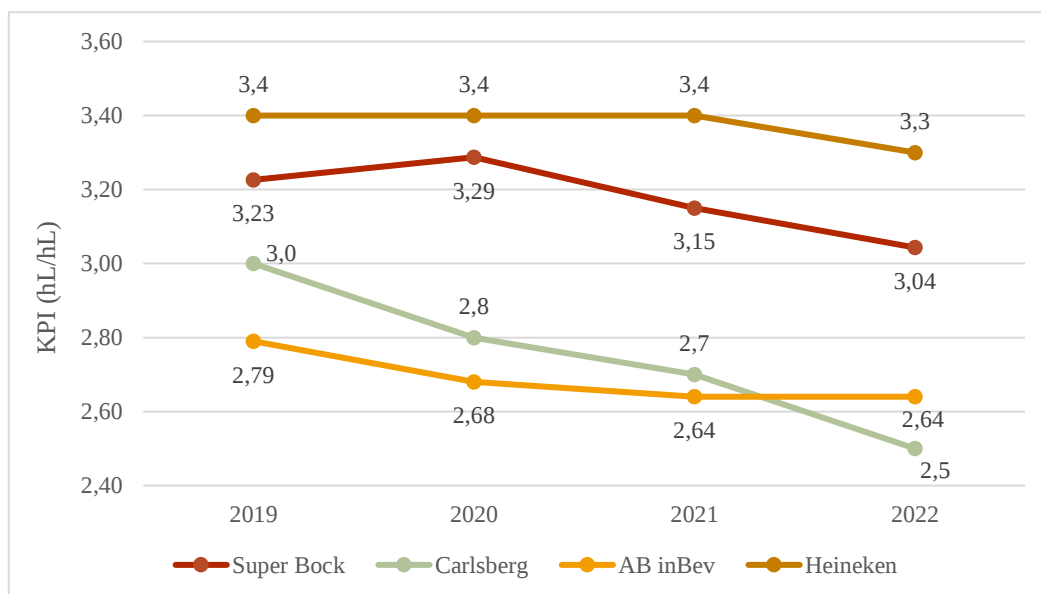


Figura 5. 3 - Comparação dos consumos anuais totais, expressos em KPI, para 2019, 2020, 2021 e 2022, entre várias empresas da indústria cervejeira.

Pelo gráfico representado na Figura 5.3, observa-se que as empresas com melhor desempenho são a Carlsberg e a AB InBev. De seguida, em terceiro lugar, encontra-se o SBG e, por fim, a Heineken que se apresenta com o pior desempenho. É de salientar que a empresa tem a Carlsberg como referência nos seus vários indicadores de desempenho, sendo esta, uma forma de avaliação do progresso e sucesso, pelo que importa observar que o objetivo do SBG para 2024 (KPI = 2,6 hL/hL como se pode observar na Figura 5.2) será atingir um KPI próximo do que se verificou na Carlsberg para 2022 (KPI = 2,5 hL/hL na Figura 5.3).

Pelos relatórios anuais de 2022 das empresas em questão, foi ainda possível constatar que o objetivo da Carlsberg é atingir 2,0 hL/hL em 2030 (Carlsberg Group, 2023), da AB InBev para 2025 é de 2,5 hL/hL (AB InBev, 2023) e da Heineken para 2030 é de 2,9 hL/hL (Heineken N.V., 2023).

De seguida, apresenta-se, no gráfico da Figura 5.4, a fração média dos consumos anuais do SBG, expressos em % do KPI, e discriminados por tipo de água, para os últimos quatro anos.

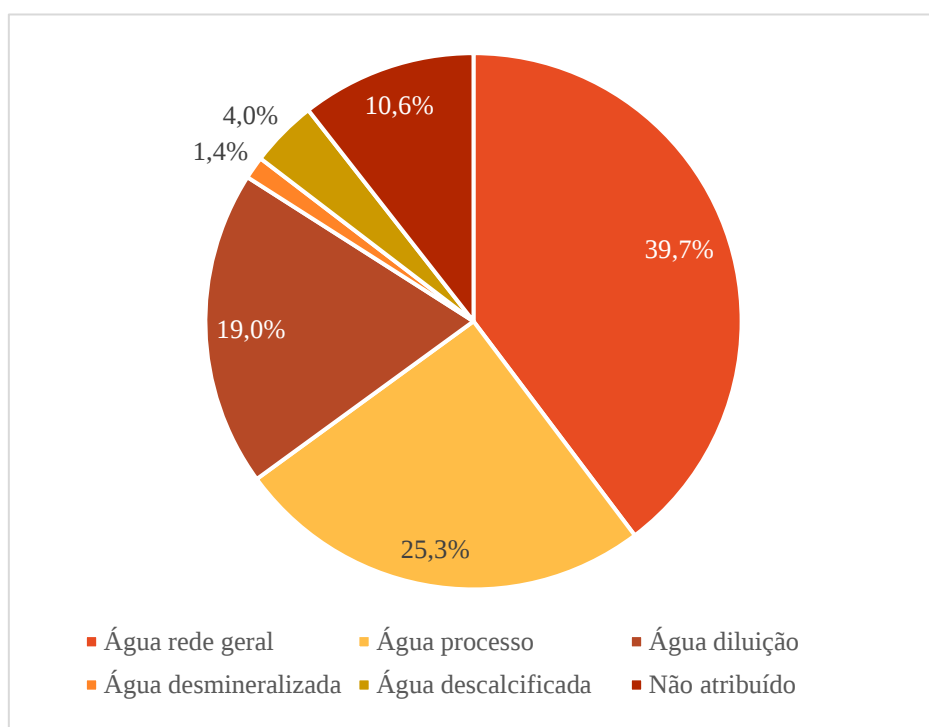


Figura 5. 4 - Fração média dos consumos anuais do SBG, expressos em %, e discriminados por tipo de água, para 2029, 2020, 2021 e 2022.

No gráfico da Figura 5.4 observa-se que o tipo de água mais utilizada na empresa é a água de rede geral (39,7%), onde se inclui grande parte da água adquirida aos SMAS, o que implica, obviamente, uma fatura anual significativa. Seguem-se as águas do processo (25,3%) e de diluição (19,0%), utilizadas diretamente no produto. Depois, tem-se a água descalcificada (4,0%) e a água desmineralizada (1,4%) que representam uma fração menor do consumo total, tal como seria de esperar. Por fim, é de salientar a grande fração de água que não tem consumidor atribuído e que é resultante do balanço de massa global realizado à ETA, isto é, a quebra do sistema. Assim, tendo em conta que corresponde, em média, a 10,6% do consumo anual, expresso em KPI, dos quatro anos considerados, é essencial proceder à caracterização concreta deste consumo.

Na Figura 5.5 encontram-se representados os consumos anuais totais e por área, expressos em KPI, para os últimos quatro anos.

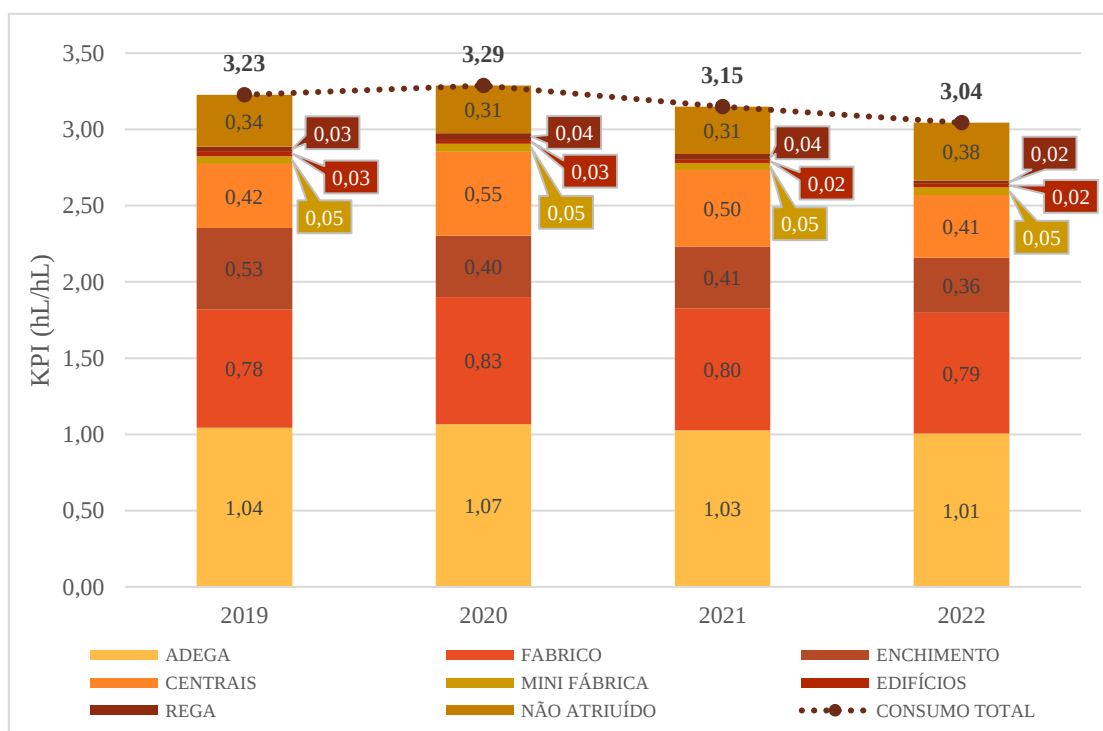


Figura 5. 5 - Consumos anuais, expressos em KPI, totais e por área para 2019, 2020, 2021 e 2022.

No gráfico da Figura 5.5 verifica-se que os maiores consumidores de água do SBG são a Adega e o Fabrico, representando, em média, cerca de 32,6% e 25,2% do consumo total anual, respetivamente. As Centrais e o Enchimento representam, em média, cerca de 14,8% e 13,4% do consumo total anual, respetivamente. Relativamente aos restantes

consumidores, Mini fábrica, Edifícios e Rega, é possível observar que têm um menor impacto no KPI, tal como seria de esperar. É ainda de salientar novamente a grande fração do KPI que não tem consumidor atribuído, representativo da quebra do sistema, estando a par dos segundos maiores consumidores da empresa.

5.3. Análise das iniciativas identificadas

Neste subcapítulo apresenta-se a análise de algumas das iniciativas previamente identificadas pela empresa, tal como referido no subcapítulo 4.3, nomeadamente:

- aumento da capacidade de produção de água industrial;
- utilização de água industrial na rega;
- utilização de água industrial na ETAR;
- monitorização e divulgação de consumos.

Estas medidas pretendem garantir continuamente a produção de AI, bem como o aumento de capacidade da respetiva produção. Adicionalmente, pretende-se alargar os consumidores de AI, reduzindo a quantidade de água de RG consumida e, com isso, diminuir o indicador de desempenho (KPI) da empresa.

Quanto ao projeto “Aumento da capacidade de produção de AI”, no momento da realização deste trabalho, encontra-se em fase de avaliação de diversas propostas e, com isto, não é possível determinar o seu custo/benefício. No entanto, é relevante avaliar a respetiva capacidade atual do processo de tratamento de água industrial.

Ora, como referido no subcapítulo 3.6, o sistema de tratamento da água industrial foi dimensionado para tratar a água proveniente da ETAR e produzir um caudal máximo de 45 m³/h, ou 900 m³/dia, considerando um tempo médio de funcionamento diário de 20h. Na Tabela 5.2 apresentam-se as condições de funcionamento atuais da instalação.

Tabela 5. 2 - Condições de funcionamento atuais da instalação de produção de água industrial.

Parâmetro	Valor
Tempo médio de funcionamento diário	20 h/dia
Capacidade de produção diária	800 m ³ /dia
Eficiência média de produção	45%

Na descrição da instalação de tratamento de água industrial (subcapítulo 3.6) referiu-se que existe a necessidade de adição de água da rede pública (SMAS) à cisterna de armazenamento final da água industrial (cisterna 6, Figura 3.1). Isto acontece quando a produção não é suficiente para satisfazer as necessidades dos consumidores, o que contribui para o aumento do KPI e respetiva fatura. No gráfico da Figura 5.6 observa-se, para o ano de 2022, o consumo total diário de água industrial em função da quantidade de água SMAS diária adicionada ao processo.

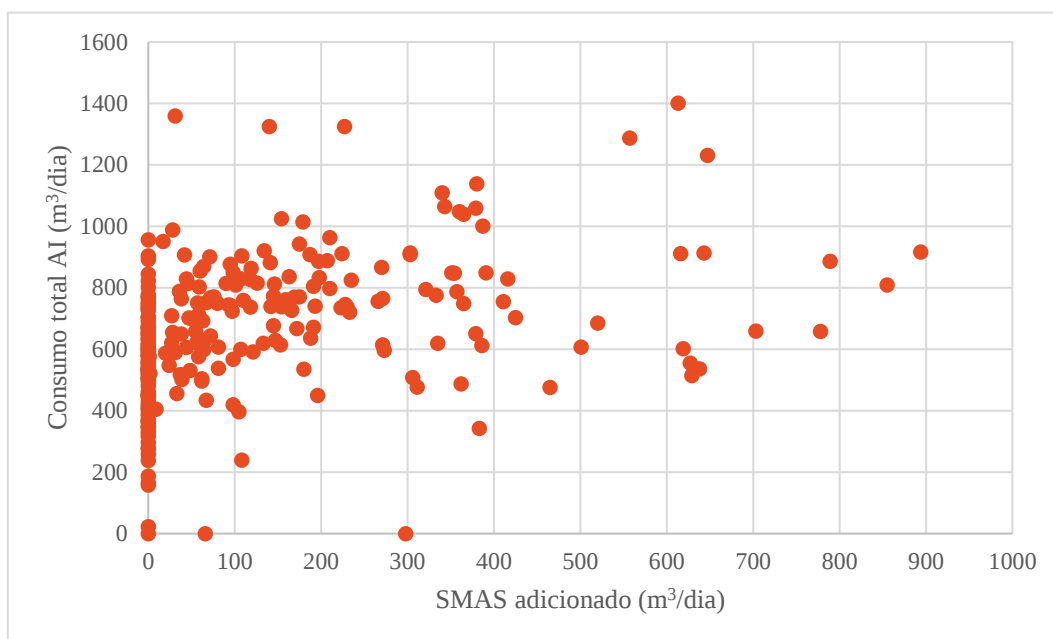


Figura 5. 6 - Consumo total de água industrial em função da quantidade de água SMAS adicionada, diariamente, ao longo de 2022.

Percebe-se, pela Figura 5.6, que, caso não existisse adição de água SMAS, todos os pontos ficariam situados no eixo das ordenadas e representariam unicamente os volumes diários de consumo de água industrial. Isto é, todos os pontos situados na restante área do gráfico correspondem a valores diários de adição de água SMAS. Esta adição pode dever-se ao facto de o consumo ser efetivamente superior à capacidade de produção, ou seja, os valores de consumo acima de 800 m³/dia no gráfico, ou, ainda, devido a picos de consumo representados pelos valores de adição que se encontram abaixo do consumo de 800 m³/dia no gráfico. Assim, apresenta-se, na Figura 5.7 a fração do número de dias, também para 2022, em que ocorreu adição de água SMAS ao sistema de tratamento de água industrial devido a cada uma das razões referidas.

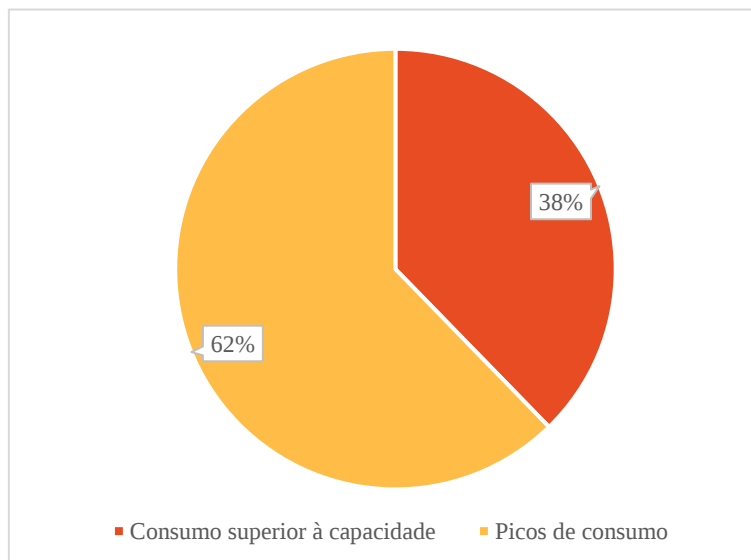


Figura 5. 7 - Fração do número de dias, para 2022, em que ocorreu adição de água SMAS ao sistema de tratamento de AI pelo consumo ser superior à capacidade ou devido a picos de consumo.

Na Figura 5.7, observa-se que 38% dos dias em que ocorreu adição de água SMAS as necessidades de consumo foram superiores à capacidade de produção da instalação e que nos restantes 62% ocorreram picos de consumo.

Com isto, é evidente a necessidade da empresa em aumentar a capacidade de produção da sua instalação de tratamento de água industrial já que, por um lado, as necessidades dos consumidores são visivelmente superiores e, por outro, porque futuramente se pretende alargar os consumidores de água industrial, como já referido. Adicionalmente, é também necessário ter em consideração que esta ação garanta a existência de uma nova instalação que permita uma resposta mais eficaz aos picos de consumo inesperados.

Na Tabela 5.3 apresenta-se a comparação entre a capacidade de projeto e a capacidade pretendida após intervenção da instalação de tratamento de água industrial, bem como a estimativa do impacto direto no KPI anual, tendo 2022 como ano de referência.

Tabela 5. 3 - Capacidade de produção do sistema de tratamento de água industrial (projeto inicial e nova pretendida) e respetivo impacto da medida no KPI.

Capacidade de projeto (m³/h)	45
Capacidade pretendida (m³/h)	90
Impacto direto KPI anual (hL/hL)	0,1

O impacto direto estimado para o KPI anual (0,1 hL/hL) foi determinado com base no volume de água SMAS que se prevê poupar com esta alteração. Além disso, a empresa

prevê que este impacto aumente consoante a substituição do tipo de água de certos consumidores para água industrial.

As propostas em fase de avaliação preveem a duplicação da capacidade de tratamento, ou seja, do caudal de produção, com a instalação de novos equipamentos.

Relativamente às propostas “Utilização de AI na rega” e “Utilização de AI na ETAR”, elas foram implementadas – a primeira intervenção ocorreu num dia de paragem de fábrica (16/04/2023) – e os respetivos resultados são analisados e discutidos em seguida. Estas iniciativas pretendem dar resposta ao alargamento dos consumidores de AI pela substituição da utilização do tipo de água, diminuindo assim o KPI da empresa.

Quanto à utilização de AI na rega, foi necessário realizar a ampliação do coletor de distribuição de água industrial da cisterna 6 com uma picagem que permita a futura ligação ao sistema de rega, tal como se observa nas fotografias da Figura 5.8.

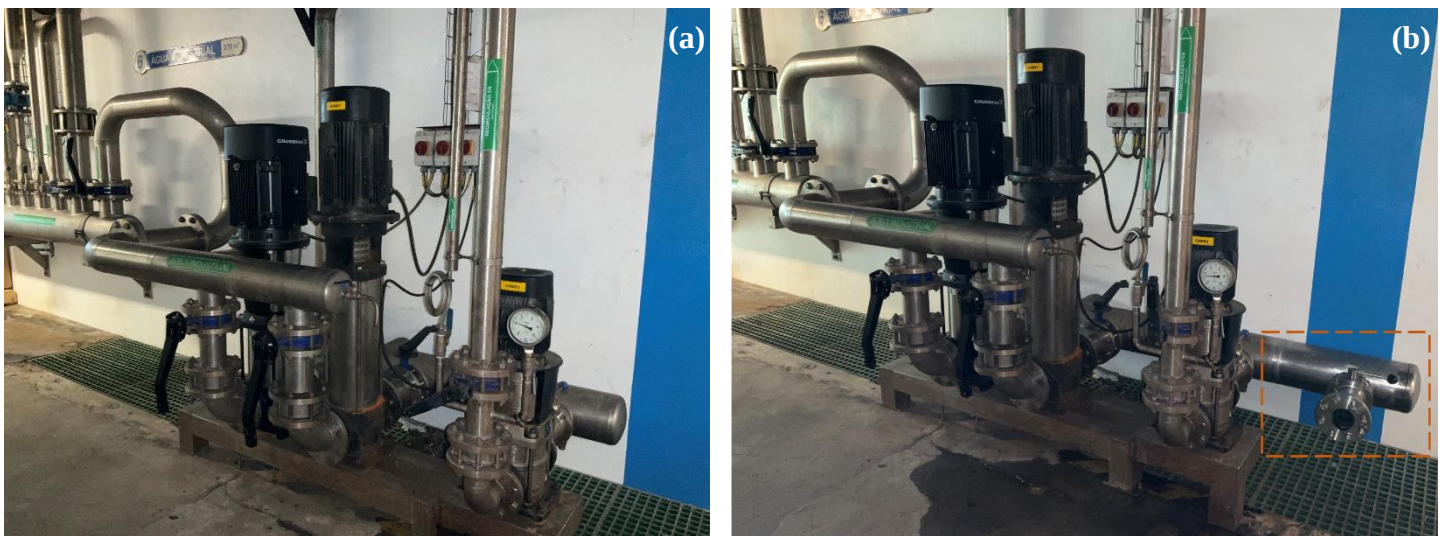


Figura 5. 8 - Fotografia do coletor de distribuição de água da cisterna 6 antes da intervenção (a) e depois da intervenção (b).

Na Tabela 5.4, apresenta-se o custo da intervenção, bem como a estimativa do potencial de poupança da implementação desta alteração e do seu impacto no KPI. Esta estimativa tem por base o valor anual verificado para 2022.

Tabela 5. 4 - Custo da ampliação do coletor de distribuição de água da cisterna 6 e respetivas estimativas do potencial de poupança e impacto no KPI.

Parâmetro	Valor
Potencial poupança anual (m ³)	8030
Potencial poupança anual (€)	14 454
Impacto KPI anual (hL/hL)	0,02
Custo intervenção (€)	1 727,31
Payback (meses)	1,4

O custo desta primeira intervenção incluiu materiais e mão de obra, sendo necessário, posteriormente, completar a obra de modo a estabelecer efetivamente a ligação ao sistema de rega, como se apresenta no Anexo A.1. A poupança foi estimada (ano de referência 2022) com base no custo do volume de água SMAS que se prevê poupar com esta alteração. Assim, verifica-se que os gastos da intervenção serão recuperados em menos de dois meses (*payback* =1,4 meses), prevendo-se um impacto positivo direto no KPI anual de cerca de 0,02 hL/hL.

Depois, relativamente à utilização de AI na ETAR, foi necessária a instalação de duas válvulas na tubagem de água industrial, tal como se observa nas fotografias da Figura 5.9, de forma a manobrar-se a linha de abastecimento de água à área da logística e à ETAR alternadamente quando se estabelecer a ligação da tubagem que se encontra na zona inferior a uma outra tubagem já existente (apenas visível na Figura A.3, Anexo A.2), tal como se explica em pormenor no Anexo A.2.

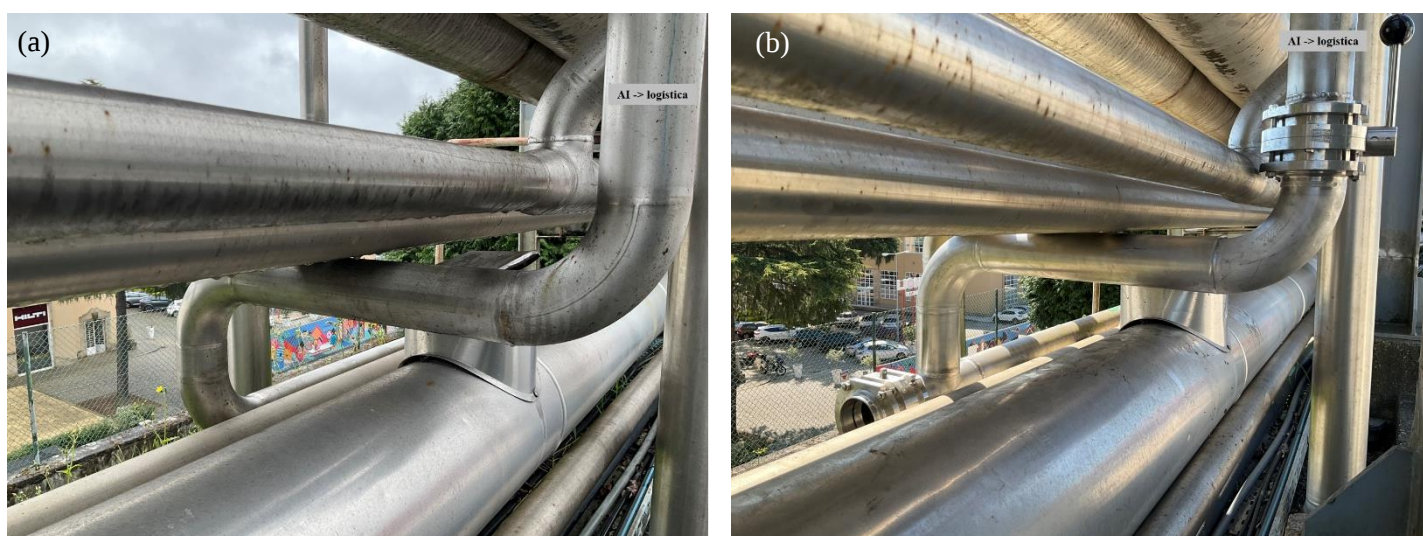


Figura 5. 9 - Fotografia da tubagem de abastecimento de água industrial à logística antes (a) e depois (b) da intervenção.

Na Tabela 5.5, apresenta-se o custo desta intervenção, a estimativa do potencial de poupança com esta implementação e o respetivo impacto no KPI. Tal como para a proposta anterior, estas estimativas têm por base os valores anuais verificados para 2022.

Tabela 5. 5 - Custo da instalação de duas válvulas na tubagem de água industrial e respetivas estimativas do potencial de poupança e impacto no KPI.

Parâmetro	Valor
Potencial poupança (m³)	16 944
Potencial poupança (€)	30 499
Impacto KPI anual	0,04
Custo intervenção (€)	1 146,16

O custo apresentado na Tabela 5.5 incluiu igualmente os materiais e a mão de obra. Posteriormente terá de se completar esta obra de forma a estabelecer efetivamente o abastecimento da água industrial à ETAR, como se explica em pormenor no Anexo A.2. A poupança com esta alteração foi igualmente estimada (ano de referência 2022) com base no custo do volume de água de RG que se prevê poupar, sendo o impacto no KPI anual igual a cerca de 0,04 hL/hL. A empresa prevê que os gastos totais com a finalização da obra serão cerca de 10 000 € e, assim, o *payback* estimado será cerca de 3,9 meses.

Por fim, a ultima iniciativa identificada pela empresa, “Monitorização e divulgação de consumos”, que se apresenta como uma estratégia fundamental na otimização do consumo de água, já que permite a identificação de picos de consumo, bem como o constante controlo e conhecimento do desempenho do sistema. Esta iniciativa foi desenvolvida em pormenor ao longo do estágio, e os resultados são apresentados no subcapítulo 5.5.

5.4. Análise do tratamento da água e reaproveitamentos

Além da análise às iniciativas previamente identificadas pela empresa, foi necessário avaliar o sistema de tratamento para averiguar a possibilidade de novos reaproveitamentos a implementar ou de possíveis melhorias no sistema de tratamento.

Posto isto, com o objetivo de avaliar a operação dos filtros da estação de tratamento de água (ETA), nomeadamente no que diz respeito à estimativa do número médio de

lavagens efetuadas mensalmente, e anualmente, realizaram-se ensaios de lavagem aos mesmos, tal como descrito no subcapítulo 4.4. Assim, desenvolveram-se estratégias para contabilizar os volumes das lavagens efetuadas e compreender como são realizados os respetivos reaproveitamentos.

Na Tabela 5.6, apresenta-se o resumo dos resultados dos ensaios onde se inclui as fases de lavagem dos filtros em estudo, destino da água residual de cada fase e estimativa mensal e anual dos volumes utilizados. De salientar que a estimativa mensal de cada equipamento foi realizada com base em determinados intervalos de tempo (subcapítulo 4.4) e que a estimativa anual teve por base a extrapolação da primeira.

Tabela 5. 6 - Resumo das fases de lavagem, respetivo destino da água residual e estimativas mensal e anual para os volumes de lavagem dos filtros em estudo.

Equipamento	Fase lavagem	Destino	Estimativa mensal (m ³)	Estimativa anual (m ³)
OFSYs 1, 2 e 3	Retrolavagem 1	Cisterna decantadora	1 261,7	15 140,3
	Retrolavagem 2			
	Lavagem final			
FC UR120-1 e 2	Retrolavagem	Cisterna decantadora	117,2	1 405,8
	Lavagem final	Cisterna 12	70,8	850,0
FC UR100-1 e 2	Retrolavagem total	Esgoto	12,7	152,0
	Lavagem final	Cisterna decantadora	3,2	38,0
Descalcificadores 1 e 2	Retrolavagem	Esgoto	704,6	8 454,9
	Regeneração			
	Lavagem final			
FC UR84	Retrolavagem	Cisterna decantadora	124,8	1 497,3
	Lavagem final	Cisterna 2	42,9	514,9
FC UR72-1 e 2	Retrolavagem	Esgoto	56,7	680,1
	Lavagem final			

De acordo com esta estimativa, apresentada na Tabela 5.6, o volume total mensal direcionado para a cisterna decantadora é cerca de 1 506,8 m³, e anual de 18 081,5 m³, e que o volume total mensal para esgoto é cerca de 773,9 m³, e anual de 9 287,0 m³. Assim, o volume necessário estimado anual para a água utilizada nas lavagens destes equipamentos é cerca de 27 368,5 m³, o que corresponde, em média, a 9,7% da água captada, sendo que, no entanto, de acordo com a bibliografia, este indicador deveria estar na ordem dos 2% (Cleasby & Logsdon, 1999).

Verifica-se que os equipamentos que mais contribuem para o volume alimentado à cisterna decantadora são os OFSYs, representando cerca de 83,7%, seguidos do FC UR84, cerca de 8,3%, dos FC UR120-1 e 2, cerca de 7,8% e, por fim, dos FC U100-1 e 2, cerca de 0,2% (Figura B.12, Anexo B.5).

Quanto aos resultados dos ensaios de lavagem de cada um dos filtros em estudo, estes encontram-se pormenorizados nos Anexos B.1 a B.5.

Aquando da realização do estágio na instalação de tratamento, identificou-se que a cisterna decantadora transborda com frequência (Figuras B.13 e B.14, Anexo B.6). Após os ensaios da lavagem dos filtros e, simultaneamente, com o conhecimento adquirido sobre o funcionamento da instalação, concluiu-se que este fenómeno acontece porque a cisterna possui apenas 150 m³ de capacidade e um tempo de decantação de 600 minutos, definido no sistema, que começa unicamente após a lavagem de cada um dos OFSYs. Findo esse tempo ocorre o direcionamento da água decantada para a Cisterna 12 (Figura 3.1), o que permitiria o reaproveitamento quase total da água das lavagens caso não existisse o fenómeno frequente de transbordo. Isto significa que, tendo em conta os volumes de lavagem elevados, quando um dos equipamentos referidos entra em lavagem e a cisterna se encontra perto da sua capacidade máxima e longe do fim do tempo de decantação, verifica-se o transbordo de água que é direcionada para esgoto (ETAR) e, portanto, o reaproveitamento não ocorre como desejado.

Posto isto, e dada a falta de registos históricos sobre a cisterna decantadora, implementou-se um registo manual ao longo de 25 dias (05/05 a 29/05), efetuado pelos técnicos das centrais, que permitiu a contabilização do volume de água transbordada. Assim, aquando do início da lavagem de cada um dos filtros que contribuem para o volume da decantadora (Tabela 5.2), registou-se a data, a hora, o nível da cisterna e o tempo de decantação nesse mesmo instante (Tabelas B.12 e B.13, Anexo B.6). No gráfico da Figura 5.10, apresenta-se a fração média, ao longo do intervalo de tempo referido, do volume transbordado pela cisterna decantadora em comparação com o volume não transbordado.

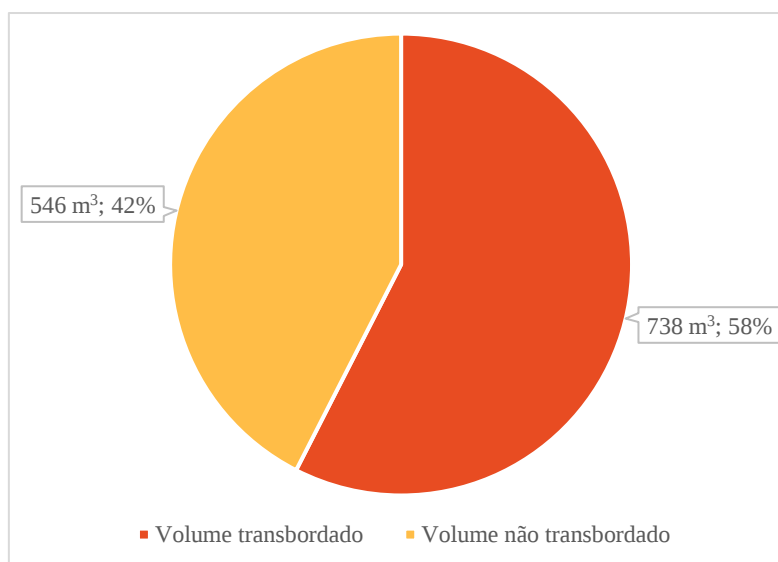


Figura 5. 10 - Fração média (%) do volume transbordado pela cisterna decantadora (m³) e do volume não transbordado (m³), de 05/05 a 29/05.

De referir que para a realização desta análise optou-se por não contabilizar o volume direcionado para a decantadora relativo às fases de esterilização dos filtros de carvão e à etapa de arrefecimento do mosto (Figura 3.1).

Ora, pela Figura 5.10 é possível verificar que, para o intervalo de tempo considerado, cerca de 58% da água que foi contabilizada no registo das lavagens dos filtros referidos não é reaproveitada como pretendido, sendo enviada diretamente para esgoto (ETAR). Com isto, torna-se evidente que a cisterna decantadora não tem capacidade suficiente para os reaproveitamentos do sistema de tratamento em questão e, assim sendo, apresenta-se uma proposta de melhoria no subcapítulo 6.1.

5.5. *Power BI*: monitorização e divulgação de consumos

A monitorização e a divulgação de consumos são iniciativas requeridas a implementar pela empresa, tal como referido nos subcapítulos 4.3 e 5.3. Para isso, recorreu-se ao *Power BI* como ferramenta desta análise, e serve este subcapítulo para apresentar os relatórios mais relevantes.

Apresenta-se uma primeira página de capa onde o utilizador pode optar por consultar a análise ou a previsão de consumos (Figura C.1, Anexo C).

Quanto à análise de consumos, apresenta-se primeiramente a análise mensal à água captada, para o exemplo de 2022, na Figura 5.11, sendo que os relatórios para os restantes anos se encontram nas Figuras C.2 a C.4 presentes no Anexo C.1.

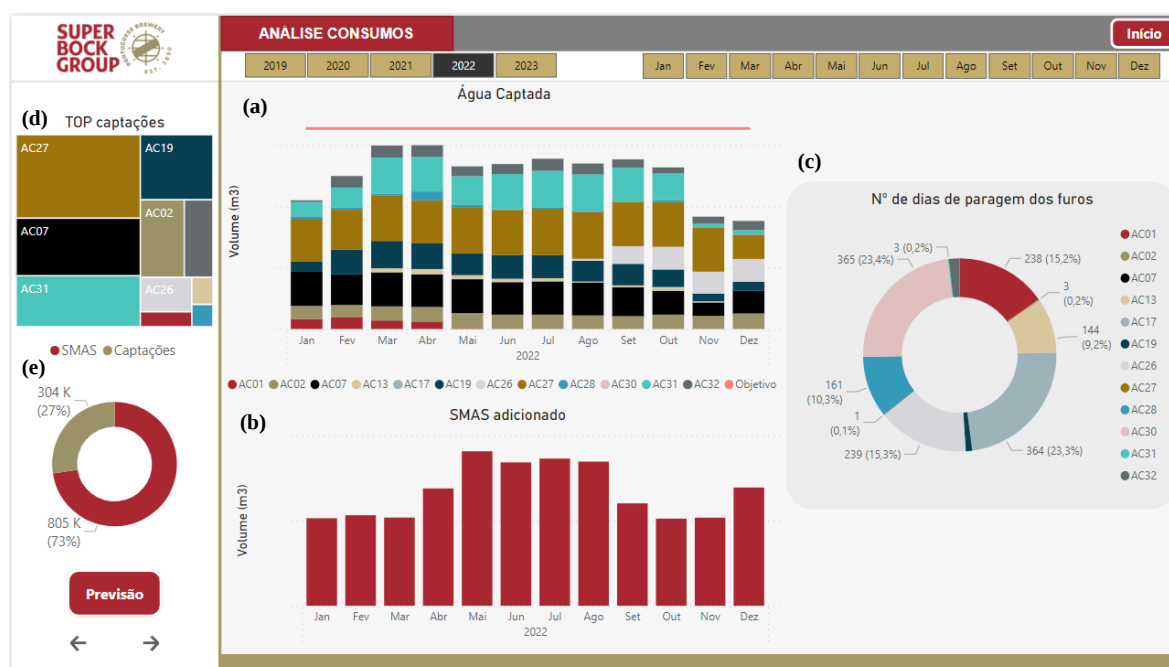


Figura 5.11 - Relatório mensal relativo à água captada para 2022.

No relatório da Figura 5.11 é possível consultar o volume de água captada, para cada um dos furos, relativamente ao objetivo mensal **(a)**, bem como o volume mensal de água SMAS adicionado ao processo de tratamento **(b)**. Verifica-se também que, para 2022, 27% do volume total anual introduzido no processo foi proveniente das captações e que o restante 73% foi adquirido aos SMAS **(e)**. O gráfico representado em **(c)** permite consultar o número de dias, para o intervalo temporal selecionado, nos quais ocorreu a paragem de cada um dos furos. Por fim, tem-se um gráfico que apresenta os furos por ordem decrescente de volume de água captada **(d)**, verificando-se que, para 2022, o furo que captou maior volume de água foi o AC27, seguido do AC07 e do AC31.

Uma vez que o relatório em *Power BI* foi pensado para a utilização de filtros temporais, é possível fazer facilmente comparações que permitem análises interessantes entre diferentes referências temporais. Por exemplo, sabe-se que, desde o início do ano de 2023, o volume de água captada sofreu uma grande rotura, pela presença de coliformes e, por isso, torna-se relevante a comparação destes volumes para o mesmo espaço temporal em 2022 (Figura 5.12).

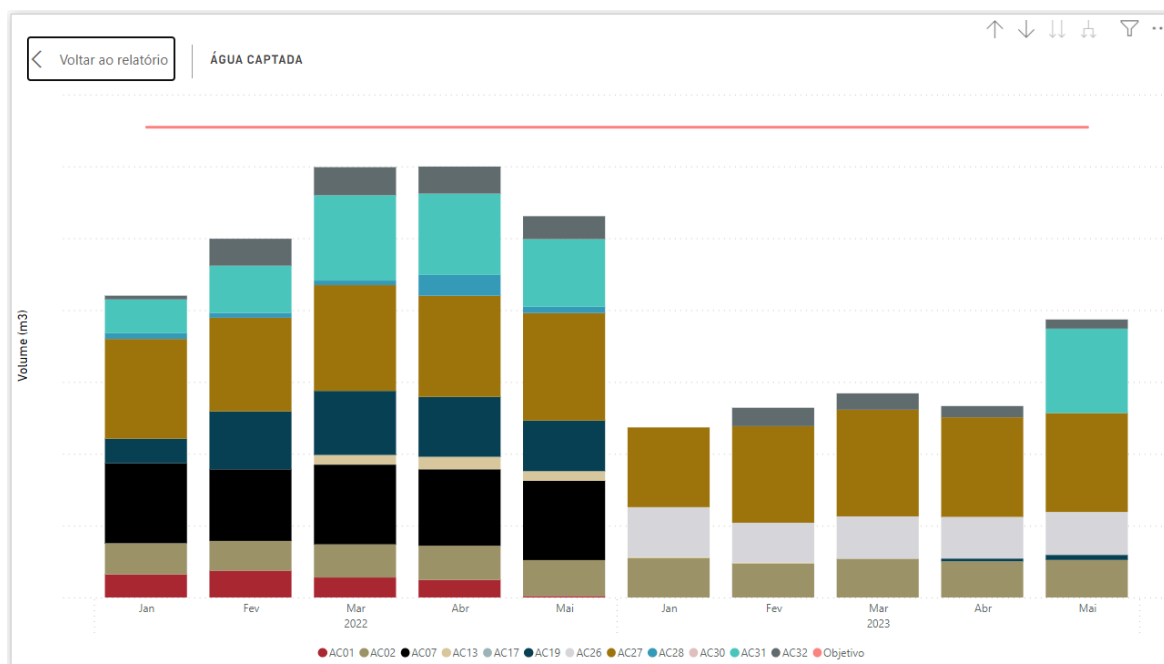


Figura 5. 12 - Relatório mensal, de janeiro a maio, relativo à água captada em 2022 e em 2023.

Observa-se, na Figura 5.12, que ocorreu um decréscimo significativo da quantidade de água captada em 2023 comparativamente com 2022, para o mesmo espaço temporal de janeiro a maio. Com isto, deu-se um aumento da compra de água aos SMAS de 70% (janeiro a maio de 2022) para 82% (janeiro a maio de 2023). A presença de coliformes na água foi verificada de janeiro a abril para os furos AC07, AC19, AC01 e AC31 (AC32 apenas em janeiro), verificando-se que em maio esta situação começou a normalizar com o furo AC31 a ser reativado, sendo que o AC19 foi reativado no final do mês de abril.

De seguida, apresenta-se, na Figura 5.13, a análise mensal do KPI global, para o exemplo de 2022, sendo que a análise para os restantes anos se encontra nas Figuras C.6 a C.8 presentes no Anexo C.1.

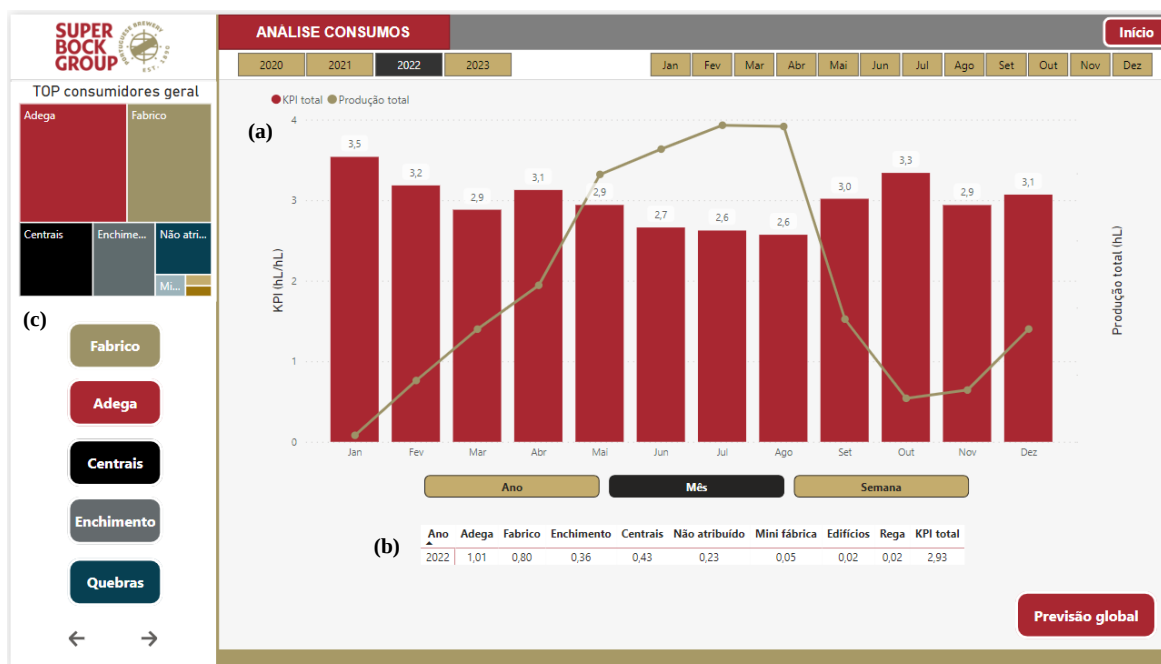


Figura 5. 13 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2022.

No relatório da Figura 5.13 é possível consultar o KPI global mensal, bem como a respetiva produção (a). Na Tabela (b) apresenta-se também o KPI anual dividido por áreas. No gráfico (c) mostram-se as áreas por ordem decrescente da fração do KPI correspondente, verificando-se que, para o intervalo de tempo selecionado, o maior consumidor é a Adega, seguido do Fabrico e das Centrais. Nesta mesma página existem diversos botões que reencaminham o utilizador para as páginas de análise do KPI para cada uma das áreas – Fabrico, Adega, Centrais e Enchimento – (Figuras C.9 a C.12, Anexo C.1), bem como para as quebras do sistema (Figura C.13, Anexo C.1) e, por fim, para a previsão do consumo global de água (subcapítulo 5.6).

Na Figura 5.14 observa-se a evolução do KPI global e da fração do KPI não atribuído comparativamente com a evolução do volume captado, do volume de produção e do volume representativo da quebra do sistema, para o período de janeiro a maio de 2022 e 2023. Esta comparação pretende mostrar a influência do volume de água captada no consumo específico global (KPI), assim como a sua contribuição para a existência de uma quebra no sistema (subcapítulo 5.1). De modo a facilitar esta análise, este período temporal foi escolhido com base no decréscimo significativo da quantidade de água captada em 2023 comparativamente com 2022 (Figura 5.12).

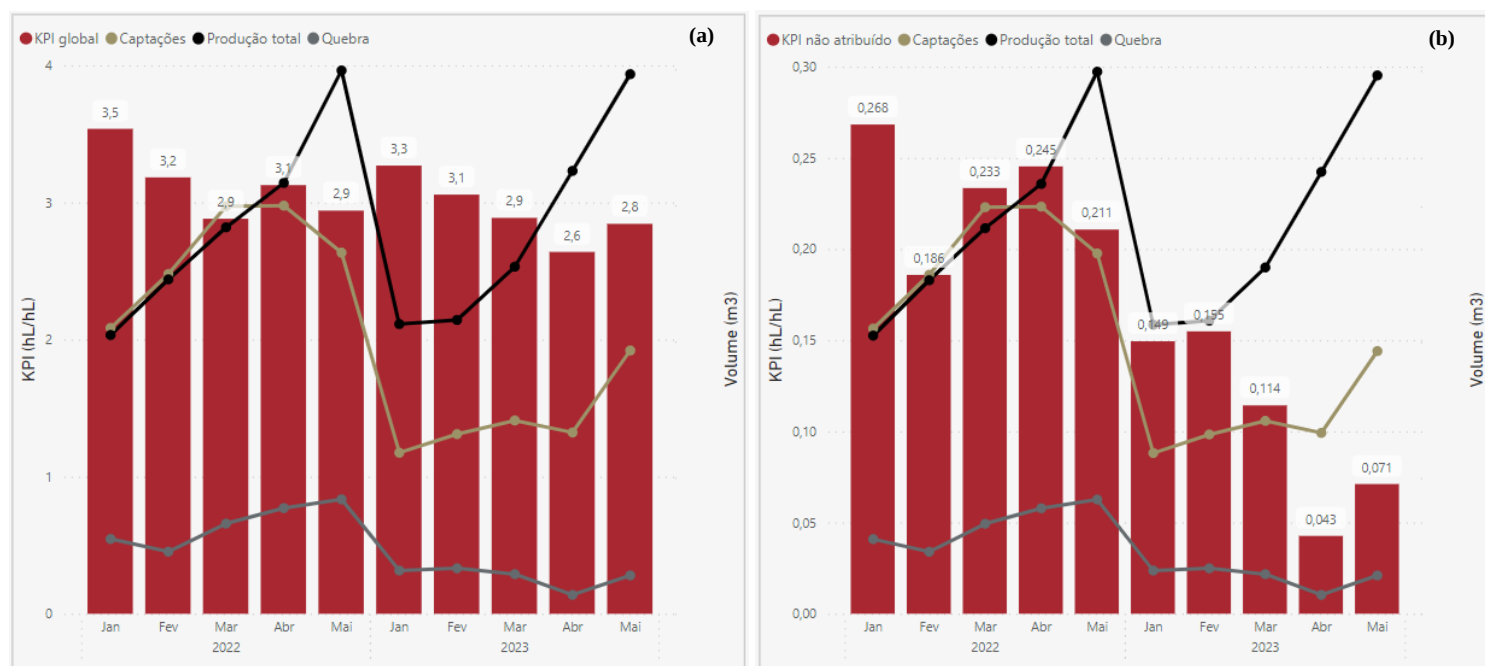


Figura 5. 14 - Relatório mensal, de janeiro a maio, em 2022 e em 2023, relativo à evolução do KPI global (a) e da fração do KPI não atribuído (b) comparativamente com a evolução do volume captado, do volume de produção e do volume representativo da quebra do sistema.

Verifica-se que, para o intervalo de tempo considerado, houve uma diminuição do volume de água captada, bem como da quebra do sistema. A evolução do volume de produção manteve-se semelhante para os mesmos meses. A par disto, tanto o KPI global como a fração do KPI não atribuído diminuíram, de um modo geral, quando se comparam os valores apresentados para os mesmos meses em 2022 e 2023. Com isto, prova-se que a quebra do sistema se encontra efetivamente no processo de tratamento e, por isso, é fundamental a implementação de melhorias no mesmo.

Pode assim afirmar-se que a existência de captações é vantajosa para o negócio da empresa, bem como para a sustentabilidade, mas não favorece o indicador de desempenho.

De seguida, apresenta-se, na Figura 5.15, a análise mensal do consumo e produção da água industrial, para o exemplo de 2022, sendo que a análise para os restantes anos se encontra nas Figuras C.14 a C.17 presentes no Anexo C.1.

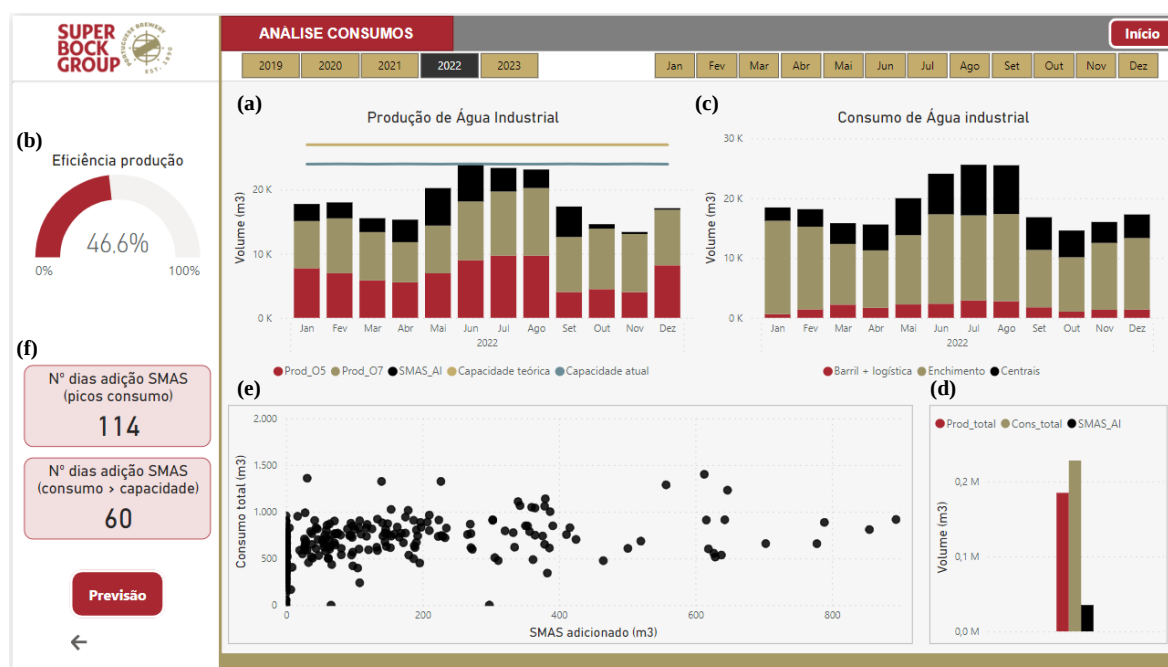


Figura 5. 15 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2022.

No relatório da Figura 5.15 pode consultar-se o volume de produção, para cada uma das unidades de osmose (OI 5 e OI 7) e a água SMAS adicionada, comparativamente com a capacidade máxima teórica (de projeto) e atual mensal de produção **(a)**. No gráfico **(b)** consulta-se a eficiência desta produção para o intervalo de tempo selecionado e que é definida como a razão, expressa em percentagem, entre o volume total produzido (OI 5 e 7) e o volume de efluente tratado na ETAR que é direcionado para a ETA. Apresenta-se também o volume consumido, de acordo com cada uma das áreas consumidoras – Barril + logística, Enchimento e Centrais – **(c)**, bem como um totalizador anual do consumo, produção e necessidade de adição SMAS no gráfico **(d)**. Em **(e)** observa-se o consumo total diário de água industrial em função da quantidade diária de água SMAS adicionada ao processo durante o mesmo período, tal como no gráfico da Figura 5.6. Por fim, tem-se dois contadores **(f)** que contabilizam o número de dias em que esta adição se deve ao facto do consumo ser efetivamente superior à capacidade de produção ou devido a picos de consumo.

5.6. Power BI: modelos de previsão de consumos

Neste subcapítulo apresentam-se dois modelos de previsão de consumo de água, nomeadamente o global e o relativo à água industrial, bem como os respetivos relatórios

desenvolvidos em *Power BI*. Primeiramente, tem-se na Figura 5.16 o modelo de previsão global, determinado com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

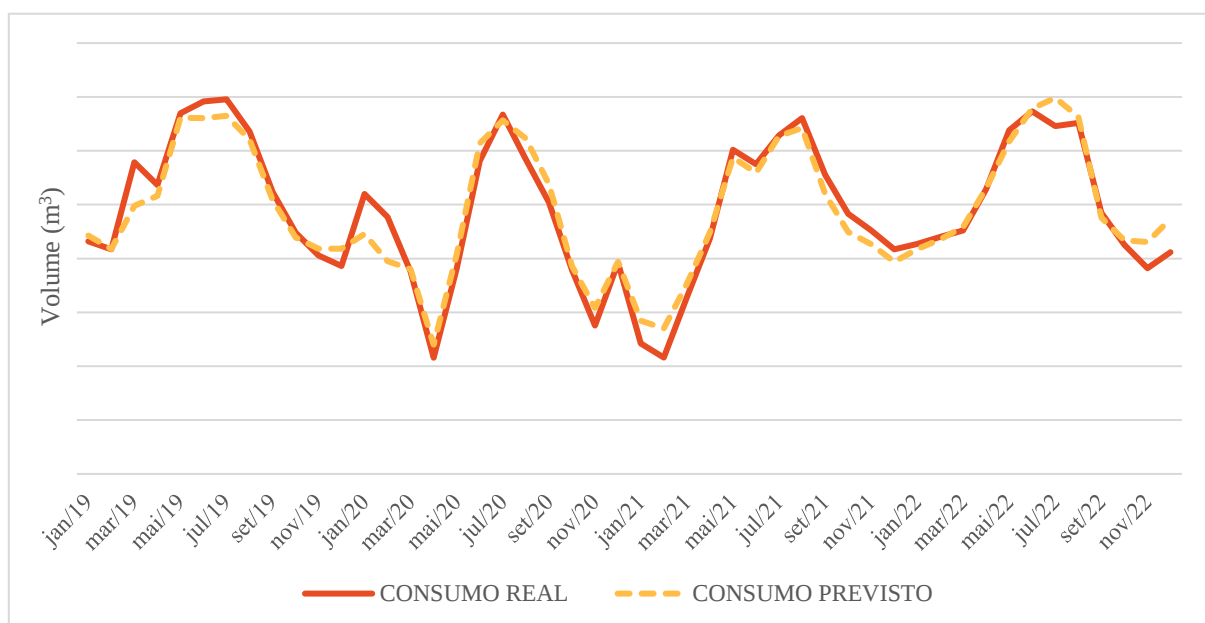


Figura 5. 16 - Modelo de previsão do consumo de água global.

Como referido no subcapítulo 4.6, o modelo de previsão global resultou da combinação dos modelos de previsão do Fabrico (Figura C.18, Anexo C.2), da Adega (Figura C.20, Anexo C.2) e do Enchimento (Figura C.22, Anexo C.2) e dos consumos médios mensais dos restantes consumidores. Posto isto, os coeficientes da equação que melhor se ajusta aos dados, e que deu origem ao consumo de água previsto para o modelo apresentado, são apresentados nas Tabelas C.7 e C.8 do Anexo C.2. Essa equação permite prever o consumo futuro de água com base na produção estimada/planeada por parte da empresa.

Assim, criaram-se relatórios no *Power BI* que incluem os modelos de previsão referidos no subcapítulo 4.6, sendo possível, com esta ferramenta, agregá-los em semanas, permitindo assim uma análise mais regular dos mesmos e a eficiente identificação de picos de consumo inesperados. Na Figura 5.17 apresenta-se o relatório semanal, em *Power BI*, relativo ao consumo global real e previsto até à semana 22 de 2023.

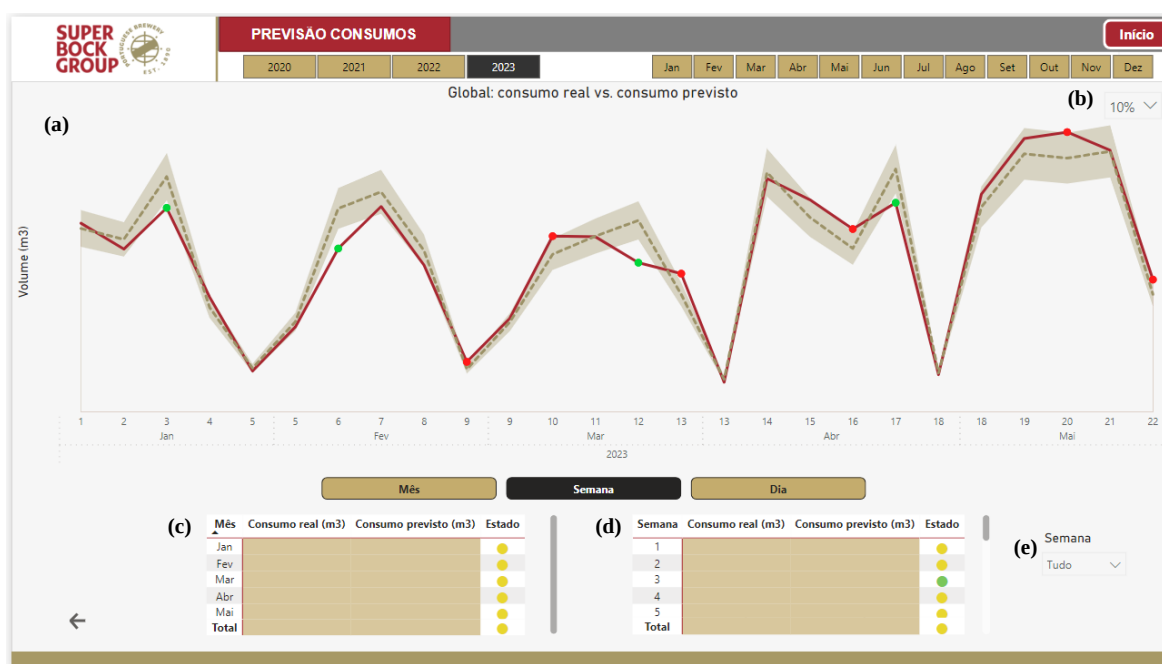


Figura 5. 17 - Relatório semanal relativo ao consumo global real e previsto, até à semana 22 de 2023.

No relatório da Figura 5.17 pode consultar-se o consumo global real (linha vermelha sólida) e previsto (linha bege tracejada) no gráfico (a), havendo a possibilidade do ajuste do intervalo de confiança (sombreado) da referida previsão, em (b), embora seja 10% o valor recomendado de acordo com o modelo obtido (Figura 5.16). Nas tabelas (c) e (d) podem consultar-se os volumes de consumo real e previsto, mensais e semanais respetivamente, bem como o “Estado” do consumo real relativamente ao previsto. Para um consumo real superior ao previsto este parâmetro aparece indicado a vermelho; se for inferior, aparece a verde; se estiverem dentro do intervalo de confiança, aparece a amarelo. No filtro (e) é possível selecionar a(s) semana(s) para as quais se pretende visualizar os consumos real e previsto, tanto no gráfico como nas tabelas.

De seguida, na Figura 5.18 apresenta-se o modelo de previsão relativo ao consumo de água industrial, determinado com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

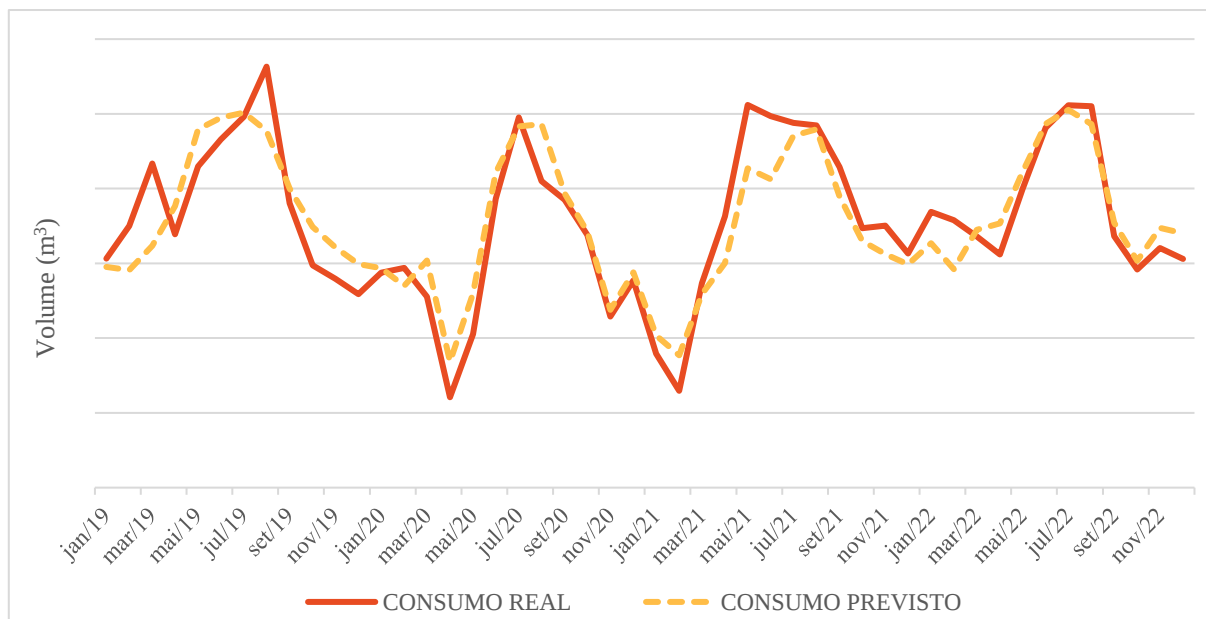


Figura 5. 18 - Modelo de previsão do consumo de água industrial.

Tal como referido no subcapítulo 4.6, o modelo de previsão da Figura 5.18 resultou na diferença entre o modelo global e o modelo global sem AI, isto é, o consumo previsto é igual à diferença entre o consumo previsto em ambos os modelos referidos (Anexo C.2).

O intervalo de confiança recomendado para a análise desta previsão é de 10%, de acordo com o modelo obtido.

Posto isto, na Figura 5.19 apresenta-se o relatório semanal, em *Power BI*, relativo ao consumo de água industrial real e previsto até à semana 22 de 2023.

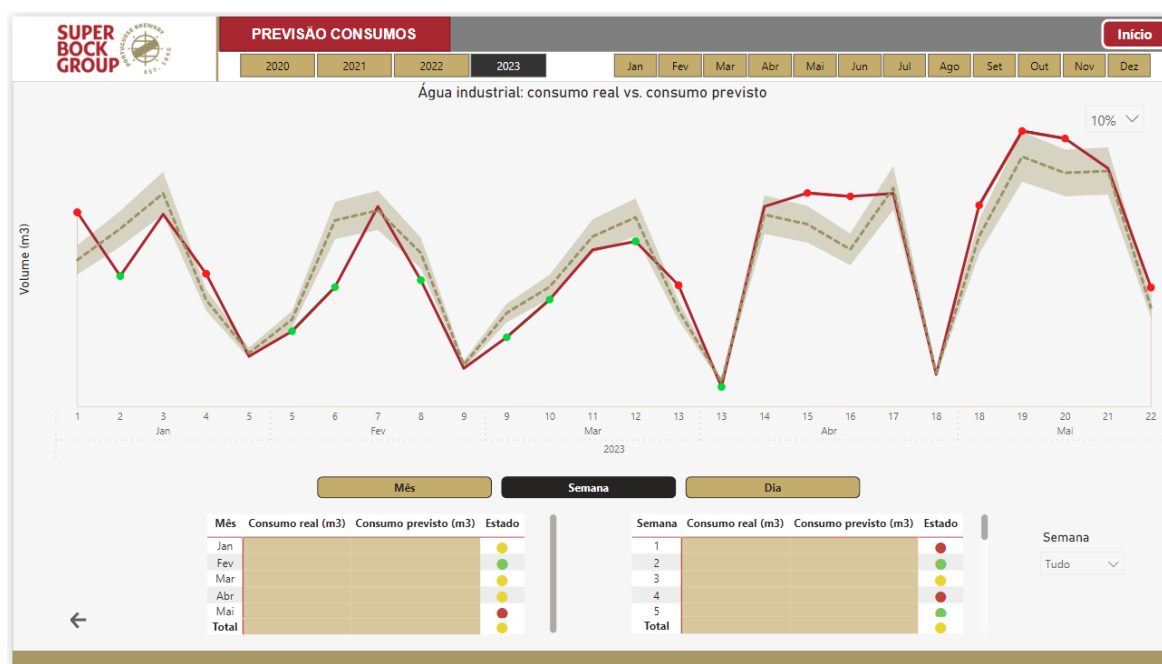


Figura 5. 19 - Relatório semanal relativo ao consumo de água industrial real e previsto, até à semana 22 de 2023.

Por fim, o modelo de previsão referente ao consumo de água SMAS que entra no sistema de tratamento (ETA) se encontra.se na Figura C.24 do Anexo C.2.

6. Propostas de melhoria

Este capítulo dedica-se à apresentação e discussão das propostas de melhoria sugeridas neste trabalho, para alguns dos problemas apresentados anteriormente. Assim, aborda-se primeiramente a possibilidade de um novo reaproveitamento de água, com o objetivo de solucionar o problema de transbordo da cisterna decantadora presente no sistema de tratamento (ETA). A segunda proposta trata-se da alteração de um outro reaproveitamento de água na instalação relativo aos rejeitados da unidade de osmose 2. Por fim, apresenta-se uma proposta no que diz respeito às captações e respetivos volumes de água captada.

6.1. Lavagem filtros OFSYs 1, 2 e 3

No subcapítulo 5.4 concluiu-se que os equipamentos que mais contribuem para o volume de água alimentado à cisterna decantadora são os OFSYs (cerca de 83,7%), pelo que a proposta apresentada passa pela alteração do destino da água das lavagens destes equipamentos. Na Figura 6.1 observam-se os OFSYs 1, 2 e 3 e as tubagens que direcionam as respetivas lavagens para a cisterna decantadora.



Figura 6. 1 - Fotografia dos OFSYs 1, 2 e 3 e respetivas tubagens que direcionam as lavagens para a cisterna decantadora.

Propõe-se, assim, que a água das lavagens dos OFSYs seja reencaminhada para a cisterna 8A, no tratamento da água industrial, tal como se explica em pormenor no Anexo D.1. Para isso, foi necessária a consideração dos parâmetros limite de admissão da água nessa cisterna (Tabela D.1, Anexo D.1). Primeiramente, avaliaram-se vários parâmetros da água de lavagem dos OFSYs, relativos ao início e ao final de cada fase de lavagem (Tabela D.2, Anexo D.1), por forma a entender aqueles que eventualmente seriam críticos e a ter em conta e, concluiu-se que seriam a concentração de ferro e a turvação.

Uma vez que para a retrolavagem 1 esses parâmetros apresentaram valores elevados relativamente aos valores de referência, considerou-se que a água desta fase não estaria apta para o reaproveitamento considerado.

No entanto, analisou-se a água da retrolavagem 2 e da lavagem final, ao longo das referidas fases de lavagem do OFSY 2, em intervalo de tempo de 1 minuto (Tabela D.3, Anexo D.1). Na Figura 6.2 estão representadas a evolução da concentração de ferro e da turvação, para um ensaio realizado no dia 03/05/2023.

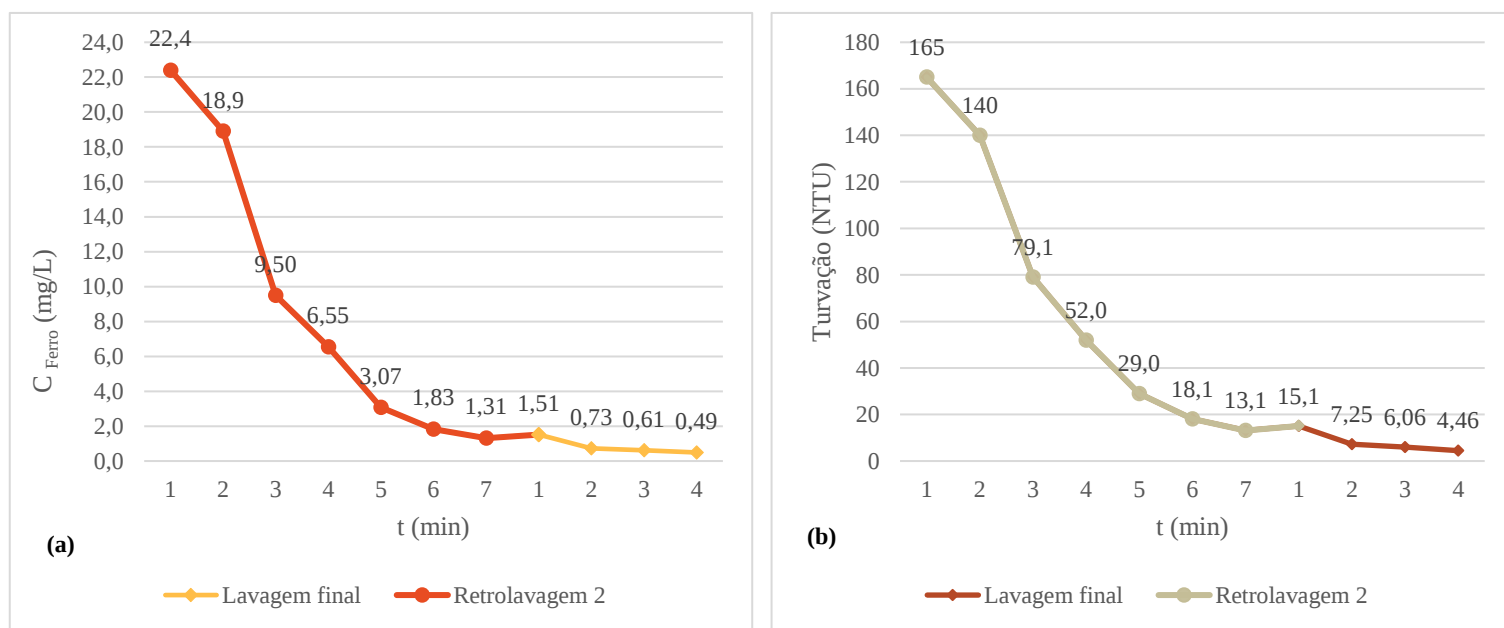


Figura 6. 2 - Evolução da concentração de ferro em mg/L (a), e da turvação em NTU (b), durante a retrolavagem 2 e a lavagem final do OFSY 2 (ensaio dia 03/05/2023).

Sabendo que para a água da cisterna 8A, o valor limite para a concentração de ferro é 2 mg/L e para a turvação é de 15 NTU (Tabela D.1, Anexo D.1), verifica-se, pela Figura 6.2, que o primeiro parâmetro se encontra abaixo do valor limite a partir dos últimos 2 minutos da retrolavagem 2, e o segundo a partir do último minuto. Relativamente à água

da lavagem final, ambos os parâmetros se encontram abaixo dos valores limite, para todo o tempo de ensaio.

Apesar de estes parâmetros puderem sofrer alterações, uma vez que dependem das características da água captada, sugere-se o reaproveitamento das águas de lavagem dos OFSYs, concretamente os últimos 2 minutos da retrolavagem 2 e a totalidade da lavagem final.

Ainda, determinou-se o potencial de reaproveitamento mensal desta alteração tendo em conta as estimativas das lavagens dos OFSYs realizadas anteriormente (Anexo B.1). Foi ainda possível pedir uma proposta de orçamento a uma empresa prestadora de serviços ao SBG para a realização da obra sugerida. Esta proposta encontra-se detalhada na Tabela D.5 do Anexo D.1 e contempla material necessário e mão de obra.

Na Tabela 6.1 encontram-se resumidos os resultados de análise a esta proposta e, como se pode ser, o *payback* previsto é de 5,3 anos.

Tabela 6. 1 - Resumo dos resultados da análise ao potencial de recuperação e respetivo payback.

Parâmetro	Valor
Recuperação mensal estimada (m³)	280
Recuperação anual estimada (m³)	3355
Custo proposta (m³)	31 957,69
<i>Payback</i> (anos)	5,3

No entanto, tendo em conta o volume mensal estimado que é transbordado pela cisterna decantadora (Figura 5.10, subcapítulo 5.4), percebe-se que o volume de lavagem dos OFSYs suscetível a ser reaproveitado não será suficiente para resolver o problema da cisterna decantadora que é apresentado.

Apesar do verificado, esta é uma medida interessante por si só, no sentido em que pretende diminuir o desperdício da água de lavagem dos filtros, com um diferente destino de reaproveitamento. Adicionalmente, sugere-se:

- a avaliação da possibilidade de redução do tempo de lavagem dos filtros, automatizando esta operação pela medição contínua da concentração de ferro e turvação;

- a avaliação da necessidade de substituição dos meios filtrantes, que permitam a reduzir as necessidades de água em cada lavagem e/ou respetivo tempo.

Ainda, relativamente ao problema da cisterna decantadora, apresentam-se novas sugestões que necessitam de ser avaliadas posteriormente, caso se mostrem interessantes para a empresa.

1. Estudo da cisterna decantadora: avaliação do seu dimensionamento e desempenho, de modo a perceber a necessidade da sua alteração (aumento da capacidade existente, alteração do tempo de decantação imposto, automatização do processo de decantação);
2. Estudo da alteração do destino de algumas águas de lavagem dos sistemas de filtração (avaliação da possibilidade de envio direto para a cisterna 12, pela análise química à água);
3. Estudo da alteração do destino do retorno do arrefecimento do mosto, já que, tratando-se de água do processo é provável que apresente características qualitativas que permitam o reaproveitamento deste volume noutra fase do processo de tratamento (ETA). É necessário complementar com um estudo energético, uma vez que se trata de água quente.

6.2. Rejeitados Osmose 2

Durante a realização do estágio constatou-se que o processo de tratamento de água incluía o reaproveitamento dos rejeitados das unidades de osmose inversa que produzem a água de diluição (OI 1, 3.1, 3.2, 4 e 6). Estes rejeitados são alimentados à cisterna 2, que armazena água da rede geral, o que permite reduzir as necessidades de compra de água SMAS para adição a esta cisterna.

Verificou-se igualmente que os rejeitados da unidade osmose 2 (OI 2) que produz água desmineralizada, são encaminhados para a cisterna 8A, tal como se observa na fotografia da Figura 6.3.



Figura 6. 3 - Fotografia da osmose inversa 2 e respetiva tubagem de envio dos rejeitados para a cisterna 8A.

Ora, como todas as unidades de osmose referidas são alimentadas pela mesma água e, tendo em conta que todas apresentam taxas de recuperação de permeado e taxas de rejeição de sais semelhantes entre si (Tabela D.6, Anexo D.2), então é expectável que o rejeitado da OI 2 apresente as mesmas características que os rejeitados das restantes, pelo que poderá alimentar, igualmente, a cisterna 2. Assim, pretende-se dar um melhor destino a esta água, uma vez que apresenta características demasiado nobres para alimentar a cisterna 8A, o que resulta numa poupança direta na compra de água SMAS e, com isso, um impacto positivo, também direto, no KPI.

Posto isto, propõe-se a alteração da tubagem dos rejeitados da OI 2, ilustrada na Figura 6.3, de tal modo que acompanhe as restantes tubagens e alimente a cisterna 2, como se pode observar na Figura 6.4.



Figura 6. 4 - Fotografia das tubagens de envio dos rejeitados das OI 1, 3.1, 3.2, 4 e 6 para a cisterna 2.

Determinou-se o potencial de poupança introduzido por esta alteração tendo em conta os dados históricos de funcionamento da OI 2 ao longo de um mês, nomeadamente de 08/02 a 08/03. Na Tabela 6.2 encontram-se resumidos os resultados desta análise, apresentando-se os resultados detalhados na Figura D.8 e na Tabela D.8 do Anexo D.2.

Tabela 6. 2 - Resumo dos resultados da análise ao potencial de poupança com a proposta de alteração da tubagem dos rejeitados da OI 2.

Parâmetros	Valor
Q permeado médio (m³/h)	15,0
Q rejeitado médio (m³/h)	5,5
V rejeitado mensal (m³)	489,5
V rejeitado anual estimado (m³)	5873,5
Poupança mensal estimada (€)	881,03
Poupança anual estimada (€)	10 572,38
Impacto KPI anual (hL/hL)	0,02

Por fim, foi pedida uma proposta de orçamento a uma empresa prestadora de serviços ao SBG para a realização da obra sugerida. Esta proposta encontra-se detalhada na Tabela D.7 do Anexo D.2 e contempla o material necessário e mão de obra, que resultam num total de 1 581,41 €. Ora, pela Tabela 6.2 torna-se evidente que os gastos com a obra serão recuperados em menos de dois meses (*payback* = 1,8 meses), de acordo com a poupança mensal estimada. De salientar também que esta poupança foi estimada com base no custo do volume de água SMAS que se prevê poupar com esta alteração (Anexo D.2). Além disso, pela mesma razão, prevê-se também um impacto positivo direto no KPI anual de cerca de 0,02 hL/hL (estimado relativamente ao KPI de 2022).

Importa ainda considerar a aprovação desta implementação pelo departamento da qualidade, já que se trata de incluir uma nova alimentação à cisterna 2 cuja água alimenta diretamente os consumidores da fábrica. Isto poderá significar a realização de análises químicas aos rejeitados, por forma a complementar a avaliação feita neste subcapítulo.

6.3. Captações

Tendo em conta a quebra verificada no sistema (subcapítulo 5.1) entre as entradas e as saídas, levantou-se a questão da correta contabilização das entradas no sistema,

nomeadamente no que diz respeito ao caudal de água captada. Esta questão é pertinente na medida em que os caudalímetros dos furos se encontram instalados junto às bombas de captação, isto é, longe do local de receção do stock que efetivamente chega à fábrica (cisternas 11 e 12). Deste modo, a possibilidade de uma contabilização errada impactaria necessariamente o valor do KPI.

Assim, realizou-se um ensaio, no dia 19/04/2023 com a duração de 6h e 47min, que permitisse contabilizar a quantidade de água que entra efetivamente em stock e compará-la com a que se considera que é captada, de acordo com os caudalímetros instalados no local das captações (Anexo D.3).

Na Tabela 6.3 encontram-se resumidos os resultados desta análise, que consistem no registo do total captado ao longo do ensaio, variações de nível das cisternas, bem como o volume de água que a cisterna 12 alimenta à Rede de Incêndio Armada (R.I.A.). Estes resultados encontram-se detalhados nas Tabelas D.10 a D.12 do Anexo D.3.

Tabela 6. 3 - Resumo dos resultados da análise de contabilização da discrepância entre a quantidade de água que entra efetivamente em stock e aquela que se contabiliza como captada.

Parâmetro	Volume (m ³)
Total captado	128
Variação nível C11/12	112
R.I.A.	2
Discrepância	14

Pela Tabela 6.3 observa-se que a discrepância calculada entre o volume de água contabilizada como captada e aquela que efetivamente entrou em stock foi de 14 m³ ao longo do tempo de ensaio. Com isto, foi possível realizar uma estimativa da discrepância diária (24h), mensal (30 dias) e anual (365 dias), tal como se apresenta na Tabela 6.4.

Tabela 6. 4 - Estimativas relativamente à discrepância entre a quantidade de água que entra efetivamente em stock e aquela que se contabiliza como captada.

Estimativa	Volume (m ³)
Diária	50
Mensal	1486
Anual	18080

Posto isto, com o objetivo da correta contabilização das entradas no sistema para a água captada e, conseqüentemente do correto cálculo do KPI, propõe-se a instalação de caudalímetros que totalizem o caudal das captações.

Tal como referido no subcapítulo 3.2, existem captações localizadas na Zona Norte (F2) e na Zona Sul (F1). A água captada em F1 é diretamente encaminhada para a torre de arejamento, e posteriormente para as cisternas 11 e 12, enquanto a das captações F2 é previamente armazenada no tanque 1.

Na Figura 6.5 apresenta-se a fotografia de um contador avariado que se encontra instalado na tubagem que direciona água do coletor F1 para a torre de arejamento. Este equipamento deveria estar a totalizar o caudal da água captada na zona F1 que entra efetivamente em stock.

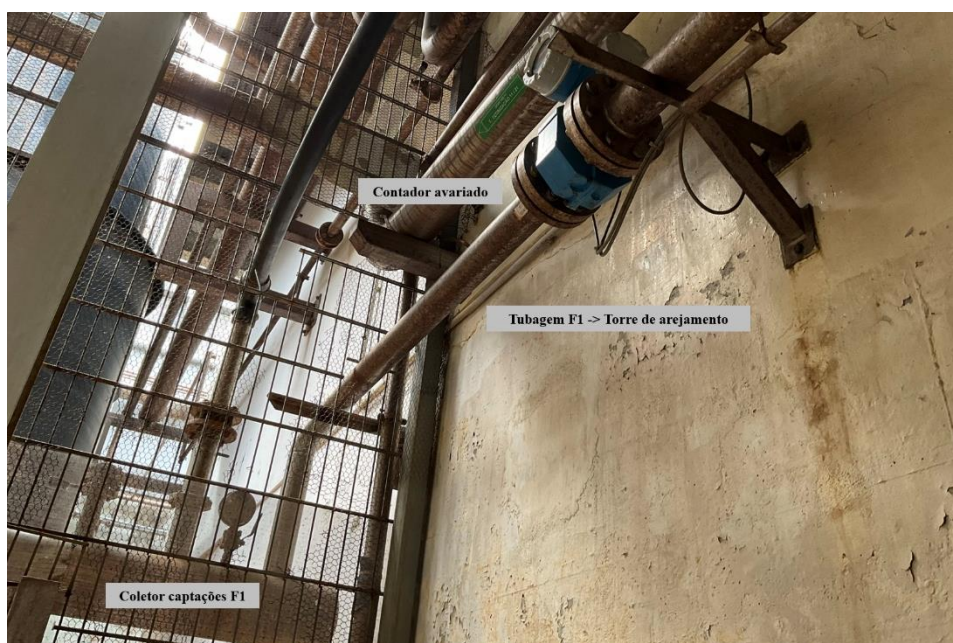


Figura 6. 5 - Contador avariado instalado na tubagem que direciona água do coletor F1 para a torre de arejamento.

Assim, sugere-se a avaliação da possibilidade de reparação do equipamento e, em caso de impossibilidade, a sua substituição por um novo.

Na Figura 6.6 apresenta-se a fotografia do tanque 1, que armazena água proveniente das captações F2, e da tubagem que direciona esta água para a torre de arejamento. Na Figura 6.7 tem-se uma diferente perspetiva dessa mesma tubagem, na qual se propõe a instalação de um contador que totalize o caudal de água proveniente das captações F2 que entra efetivamente em stock.



Figura 6. 7 - Tanque 1 e tubagem que direciona a água das captações F2 para a torre de arejamento.



Figura 6. 6 - Local de instalação do novo contador: tubagem que direciona a água das captações F2 para a torre de arejamento.

De seguida, apresenta-se na Tabela 6.5, o custo associado aos caudalímetros sugeridos para serem instalados (Tabela D.13, Anexo D.3), bem como a estimativa do impacto desta medida no KPI.

Tabela 6. 5 - Custo associado aos caudalímetros a serem instalados e respetiva estimativa do impacto no KPI.

Contador	Custo (€)	Impacto KPI anual (hL/hL)
F1	731,26	0,05
F2	1 000,18	

Pela Tabela 6.5, sabe-se que o custo total dos dois caudalímetros é de 1 731,44 € e, com as estimativas de custos adicionais para efetuar a instalação (Anexo D.3), o custo final será cerca de 2 597,16 €.

Com esta medida não se pretende recuperar o gasto apresentado, já que as necessidades de água permanecerão, à partida, as mesmas. No entanto, pretende-se diminuir a quebra que é contabilizada no sistema de tratamento e, simultaneamente, fazer uma correta contabilização das entradas no sistema, no que diz respeito à água captada. Com isto, o KPI diminuiria, já que passaria a contemplar os caudais totalizados por estes novos caudalímetros, sendo uma representação mais fiel da realidade.

É ainda de referir que, pela Tabela 6.3, também se observa que o volume de água que a cisterna 12 alimenta à R.I.A. ao longo do tempo de ensaio foi de 2 m³. Com isto, foi possível realizar uma estimativa diária (24h), mensal (30 dias) e anual (365 dias) da água alimentada à R.I.A. para compensações de pressão (Tabela D.12, Anexo D.3), bem como respetivos custos associados, tal como se apresenta na Tabela 6.6.

Tabela 6. 6 - Estimativas relativamente à água que é alimentada à R.I.A.

Estimativa	Volume (m³)	Prejuízo (€)
Diária	7	12,74
Mensal	212	382,11
Anual	2583	4 649,04

Na Tabela 6.6 vê-se que os volumes estimados bombeados para a R.I.A., em condições normais, são bastante significativos. Como referido, estes volumes servem para compensar a pressão neste sistema de distribuição, o que é resultado de possíveis fugas nas tubagens, pelo que se sugere o respetivo estudo e reforço das mesmas.

7. Conclusões e sugestões para trabalho futuro

Com a realização deste trabalho, pretendeu-se cumprir essencialmente quatro objetivos, nomeadamente o levantamento do sistema produtivo dos vários tipos de água utilizada, a caracterização do consumo dos diferentes tipos de água, a proposta de melhorias aos sistemas atuais e, por fim, a otimização dos sistemas de tratamento e de consumo nos diferentes utilizadores.

Para isso, realizou-se o balanço mássico à instalação, do qual se concluiu que o consumo total de água apresenta um comportamento sazonal (maior durante a época de verão) e que as diferenças entre os volumes de entrada e saída, designadas por quebras, são notórias, sendo que se verificou o menor valor em novembro de 2020 e o maior em julho de 2022, para os últimos quatro anos.

Depois, fez-se a caracterização do consumo de água, em termos de KPI, tendo-se verificado a sua diminuição ao longo dos últimos três anos (3,29 hL/hL para 2020; 3,15 hL/hL para 2021 e 3,04 para 2022 hL/hL). Verificou-se também que o tipo de água mais utilizada na empresa é a água de rede geral (39,7%), seguida das águas do processo (25,3%), de diluição (19,0%), descalcificada (4,0%) e desmineralizada (1,4%). A quebra do sistema integra uma parte significativa do consumo anual, em média, 10,6%.

Analisaram-se algumas iniciativas de melhoria em implementação na empresa, nomeadamente o aumento da capacidade de produção de água industrial, a utilização de água industrial na rega e a utilização de água industrial na ETAR, concluindo-se que os impactos diretos das mesmas no KPI global são cerca de 0,1; 0,02 e 0,04 hL/hL, respetivamente.

De seguida, avaliou-se o sistema de tratamento para averiguar a possibilidade de implementar melhorias. Estudou-se a operação dos filtros da ETA e concluiu-se que o volume necessário estimado anual para a água utilizada nas lavagens destes equipamentos é cerca de 27 368,5 m³, o que corresponde, em média, a 9,7% da água captada. . Concluiu-se ainda que, desse volume de lavagens, 18 081,5 m³ (66,1%) é direcionado para a cisterna decantadora e os restantes 9 287,0 m³ (33,9%) para esgoto. Constatou-se também que esta cisterna decantadora transborda com frequência e, posto isto, implementou-se um registo manual que permitiu a contabilização do volume de água transbordada, concluindo-se que cerca de 58% da água que foi contabilizada no registo não é reaproveitada como pretendido.

Foi também desenvolvido um documento, em *Power BI*, que permite o acompanhamento dinâmico da evolução dos consumos de água da fábrica.

A primeira proposta de melhoria sugerida neste trabalho consiste na alteração do destino das águas de lavagem dos filtros OFSYs 1, 2 e 3, reencaminhando-as para a cisterna 8A, com o objetivo de solucionar o problema de transbordo da cisterna decantadora. Sugere-se o reaproveitamento das lavagens dos OFSYs relativas aos últimos 2 minutos da retrolavagem 2 e à totalidade da lavagem final, sendo o seu potencial igual a 280 m³ por mês. Tendo em conta o custo da proposta (31 957,69 €), o *payback* previsto é cerca de 5,3 anos.

Em segundo lugar, propõe-se a alteração da tubagem dos rejeitados da unidade de osmose 2, de tal modo que alimente a cisterna 2, tal como os rejeitados das restantes unidades de osmose. Esta medida pode resultar numa poupança direta na compra de água SMAS e, com isso, ter impacto positivo direto no KPI de cerca de 0,02 hL/hL. Tendo em conta o custo da proposta (1 581,41 €), o *payback* previsto é cerca de 1,8 meses.

A última proposta consiste na instalação de caudalímetros que totalizem o caudal das captações, com o objetivo da correta contabilização das entradas no sistema, sendo o custo estimado igual a 2 597,16 €. Esta medida pode representar um impacto positivo no KPI de cerca de 0,05 hL/hL.

Conclui-se que, de um modo geral, os objetivos propostos foram cumpridos. A otimização dos sistemas de tratamento e de consumo nos diferentes utilizadores não foi totalmente alcançada. Sugere-se que se tenha em atenção a otimização da produção de água industrial, implementando-se um maior controlo do processo através, por exemplo, do registo mais pormenorizado das variáveis a ter em atenção, por parte dos técnicos operacionais.

Para **trabalhos futuros** sugere-se:

- estudar a possibilidade de redução do tempo de lavagem dos filtros, automatizando esta operação pela monitorização da concentração de ferro e turvação;
- analisar a necessidade de substituição dos meios filtrantes, que permitam a reduzir as necessidades de água em cada lavagem e/ou respetivo tempo.
- avaliar o dimensionamento e desempenho da cisterna decantadora, de modo a perceber a necessidade da sua alteração;
- estudar as fugas das tubagens da R.I.A.

Referências bibliográficas

- AB InBev. (2023). *Annual Report 2022*. Obtido de https://www.ab-inbev.com/assets/pressreleases/2023/AB%20InBev_2022%20Annual%20Report_FINAL.pdf
- Almada-Lobo, B. (2007). Métodos estatísticos de previsão—Regressão Linear. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- APA. (2021). Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água. Obtido janeiro 24, 2023, de <https://apambiente.pt/agua/programa-nacional-para-o-uso-eficiente-da-agua>
- Boaventura, J. (2009, março). *Otimização do Processo de Filtração de Cerveja*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Braceiro, A. (2014). *Utilização da Tecnologia de Separação por Membranas na Reabilitação de Sistemas de Tratamento de Água*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Carlsberg Group. (2023). *Annual Report 2022*. Obtido de <https://www.carlsberggroup.com/media/55897/carlsberg-group-annual-report-2022.pdf>
- Carvalho, M. (2018, janeiro 4). O Rigor da Grande Cerveja. Obtido janeiro 10, 2023, de <https://web.fe.up.pt/~up201703893/beer/hist%c3%b3ria.html>
- Cleasby, J. L., & Logsdon, G. S. (1999). *Water Quality and Treatment—A Handbook of Community Water Supplies* (5.^a ed.). McGRAW-HILL, INC.
- Culligan. (2023). OFSY - Filtros, Modelos 20-54—Ficha Técnica. Obtido de https://www.culligan.es/wp-content/uploads/00759249_FT_ES_OFSY_20-54.pdf
- Czech Brewery System. (2023). BBS: Breweries—Basic sets. Obtido abril 25, 2023, de <https://eshop.czechminibreweries.com/product-category/bbs/>
- DRE. (1998, agosto 1). Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto. Obtido fevereiro 1, 2023, de <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/236-1998-430457>
- DRE. (2007, agosto 27). Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto. Obtido fevereiro 1, 2023, de <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/306-2007-640931>
- Ferreira, D. (2014). *Estratégia para uma Gestão Eficiente da Água e Resíduos na Indústria—Estudo de uma Indústria Metalomecânica*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations* (3rd edition.). Prentice-Hall International.
- Gonçalves, M. (2019). *Otimização do Indicador de Processo Right First Time em Contexto Cervejeiro*. Técnico Lisboa, Lisboa.
- GRUNDFOS. (2023). Bombas e serviços: CRN 64-3-1 A-F-A-E-HQQE. Obtido junho 28, 2023, de <https://product-selection.grundfos.com/pt/products/cr-cre-cri-crie-crn-crne-crt-crte/crn/crn-64-3-1-96123780?tab=variant-curves&pumpsystemid=2132976799>
- Heineken N.V. (2023). *Annual Report 2022*. Obtido de https://www.theheinekencompany.com/sites/theheinekencompany/files/Investors/financial-information/results-reports-presentations/Heineken-NV-AR-2022--23_02_2023_1.pdf
- Klemeš, J. J. (2012). Industrial water recycle/reuse. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1(3), 238–245.
- Klipfolio. (2021). What is a KPI? Obtido fevereiro 9, 2023, de <https://www.klipfolio.com/resources/articles/what-is-a-key-performance-indicator>
- Magalhães, S. (2010). *Educar Para a Gestão Sustentável da Água em Portugal*. Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- Marques, R. (2016, março). *Análise e otimização do processo de lavagem de uma central de engarrafamento de bebidas*. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Morais, L. (2021). Oxidação Química—Apontamentos da disciplina de Processos de Tratamento de Água do Mestrado em Engenharia Química. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Morais, L. (2022). Tratamento de águas residuais—Apontamentos da disciplina de Seminário da Licenciatura em Engenharia Química. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Olajire, A. A. (2020). The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production*, 256, 102817.
- ONU. (2023). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Obtido janeiro 24, 2023, de <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>
- Ribeiro, M., & Esteves, T. (2017). Filtração—Caderno para acompanhamento da disciplina de Tecnologias de Separação no Mestrado em Engenharia Química. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

- Ribeiro, M., & Esteves, T. (2018). *Membranas—Caderno para acompanhamento da disciplina de Tecnologias de Separação no Mestrado em Engenharia Química*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Ribeiro, M., & Esteves, T. (2019). *Adsorção—Caderno para acompanhamento da disciplina de Tecnologias de Separação no Mestrado em Engenharia Química*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Rocha, J. (2017). *Otimização de Programas de CIP na Indústria Cervejeira*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
- Silva, P. (2022). *A Indústria Cervejeira—Apontamentos da disciplina de Indústria dos Processos Químicos e dos Bioprocessos do Mestrado em Engenharia Química*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Simate, G. S., Cluett, J., Iyuke, S. E., Musapatika, E. T., Ndlovu, S., Walubita, L. F., & Alvarez, A. E. (2011). The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. *Desalination*, 273(2–3), 235–247.
- Super Bock Group. (2020a). Sobre o grupo. Obtido novembro 19, 2022, de <https://www.superbockgroup.com/detalhe/sobre-o-grupo/>
- Super Bock Group. (2020b). Sobre as cervejas. Obtido janeiro 10, 2023, de <https://www.superbockgroup.com/detalhe/sobre-as-cervejas/>
- Tokos, H., & Glavič, P. (2007). *Minimisation of freshwater consumption in brewery*. University of Maribor, Chemical Engineering Department.
- van der Tuin, J. K. C. (2021). *Reducing the water consumption of a large-scale brewery*. University of Twente, Enschede, Países Baixos.
- Veolia. (2020). *SBG Leça do Balio WWTP REVAMPING - Technical Report*.
- Veolia. (2022). *Manual de Processo—Instalação Água Industrial ETA_Super Bock—Versão 1*.
- WWF. (2023). *Water Scarcity*. Obtido janeiro 24, 2023, de <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>

Anexos

Anexo A – Iniciativas identificadas

Este anexo é dedicado à apresentação pormenorizada de duas iniciativas previamente identificadas pela empresa: a utilização de água industrial na rega e na ETAR.

A.1. Utilização de água industrial na rega

Quanto à utilização de AI na rega, realizou-se a ampliação do coletor de distribuição de água industrial da cisterna 6 com uma picagem que permitirá a futura ligação ao sistema de rega.

Assim, após prolongamento do coletor, terá de se prolongar também o suporte para instalar a bomba que permitirá a distribuição de água para a rega, como se observa na Figura A.1.



Figura A. 1 - Fotografia do coletor de distribuição de água da cisterna 6 depois da intervenção e indicação do suporte que é necessário prolongar.

A referida bomba será a bomba já existente, mas que está instalada à direita, a poucos metros, do coletor, como se vê na Figura A.2.

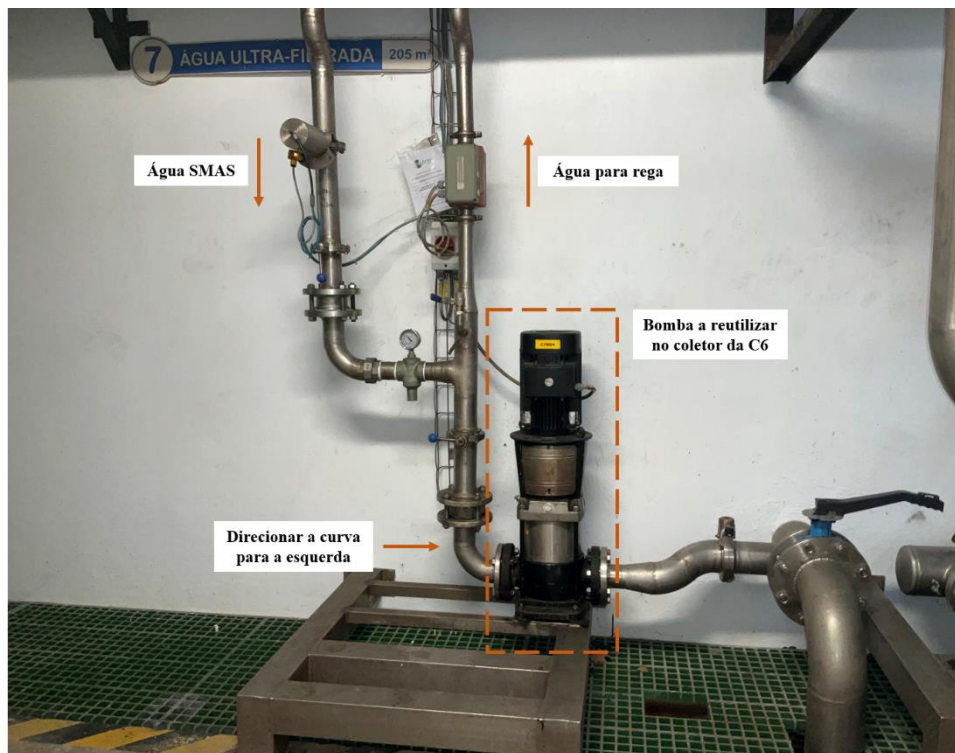


Figura A. 2 - Bomba de distribuição de água para a rega e indicação das alterações futuras.

Na Figura A.2 pode ver-se parte do sistema de rega, sendo que o objetivo é reutilizar a bomba e a tubagem de envio da água para a rega. Adicionalmente, interessa manter a possibilidade de utilizar água SMAS, em caso de necessidade. Assim, tudo se mantém, exceto a bomba que será movida e instalada no coletor (Figura A.1), sendo que a curva (indicada na Figura A.2) será direcionada para a esquerda (localização do coletor) e a respetiva ligação será então feita com nova tubagem.

A.2. Utilização de água industrial na ETAR

Quanto à utilização de AI na ETAR, instalaram-se de duas válvulas na tubagem de água industrial de forma a manobrar-se a linha de abastecimento de água à área da logística e à ETAR, alternadamente, quando se estabelecer a ligação da tubagem que se encontra na zona inferior a uma outra tubagem já existente, como se representa de forma esquemática na Figura A.3.



Figura A. 3 - Fotografia da futura ligação que se prevê fazer para permitir o abastecimento de AI à ETAR.

Posteriormente terá de se completar esta obra de forma a estabelecer efetivamente o abastecimento da água industrial à ETAR, como se apresenta na fotografia aérea representada na Figura A.4.



Figura A. 4 - Abastecimento de água industrial à ETAR; tubagem (A) já existente; tubagens (B) e (C) a construir.

Assim, a restante proposta consiste na interseção da tubagem inutilizada que já existe (A) com a tubagem que alimenta atualmente água de rede geral à ETAR, tal como se apresenta na fotografia da Figura A.5, porque assim garante-se uma menor intervenção ao sistema de distribuição de água à ETAR, alterando-se apenas a sua origem.

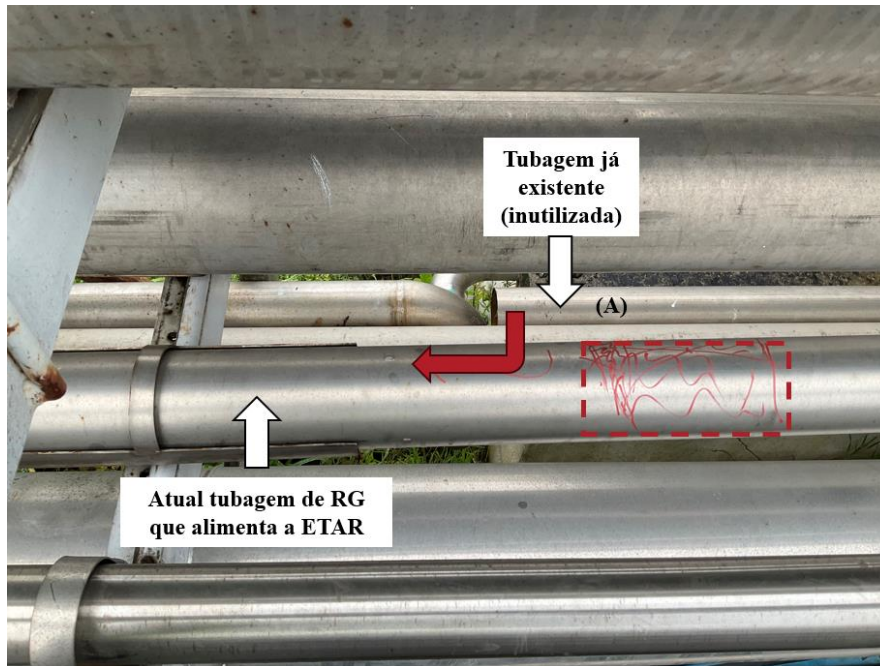


Figura A. 5 - Representação da interseção da tubagem inutilizada (A) com a tubagem que alimenta atualmente água de rede geral à ETAR.

Mas, como também é necessário que se garanta o abastecimento de alguns consumidores desta zona que requerem obrigatoriamente água da rede geral (um lava-olhos e uma casa de banho), pretende-se construir uma nova tubagem (B) a partir do corte anterior (assinalado a tracejado na Figura A.5) que, posteriormente, terá ligação a uma nova tubagem (C) – consultar Figura A.4.

Anexo B – Tratamento da água e reaproveitamentos

Este anexo dedica-se à demonstração pormenorizada dos ensaios realizados com o objetivo de avaliar o sistema de tratamento, numa perspetiva de averiguar a existência de novos reaproveitamentos a implementar ou de possíveis melhorias nos existentes.

B.1. Filtros OFSYs (1, 2 e 3)

Verifica-se a existência de um medidor de caudal à entrada de cada um dos filtros OFSYs, que mede os caudais das várias fases de lavagem e o de serviço ($50 \text{ m}^3/\text{h}$).

Realizou-se um ensaio de lavagem ao OFSY 3 e, de seguida, efetuou-se a recolha, no WinCC, dos caudais desse ensaio (Figura B.1), calculando-se o volume de água gasto nas várias etapas, conhecendo o tempo de cada uma delas (Tabela B.1).

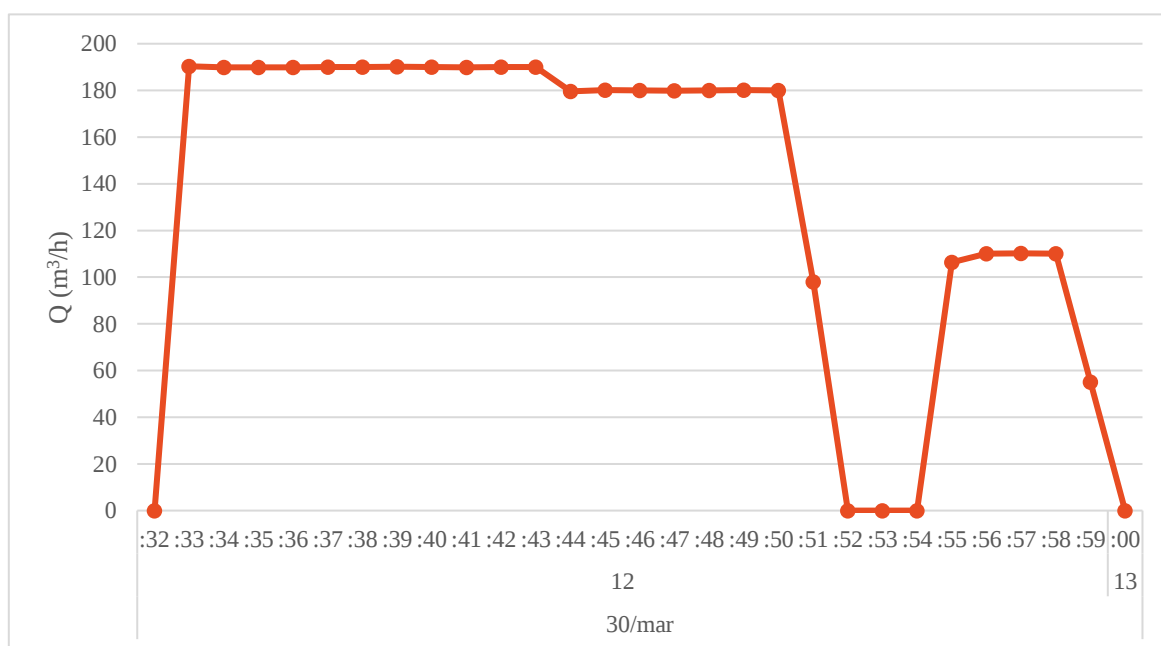


Figura B. 1 - Caudal (m^3/h) ao longo do ensaio de lavagem ao OFSY 3, no dia 30/03/2023.

Tabela B. 1 - Caudais, volumes e tempo das várias etapas de lavagem, obtidos no ensaio realizado ao OFSY 3, no dia 30/03/2023.

Equipamento	Fase de lavagem	Q _{médio} (m ³ /h)	t (min)	V (m ³)
OFSY 3	Retrolavagem 1	190,0	10	31,7
	Retrolavagem 2	179,9	7	21,0
	Pausa	0	3	0
	Lavagem final	109,3	4	7,3
TOTAL			24	59,9

Os filtros OFSYs 1, 2 e 3 são semelhantes entre si e, por isso, os resultados obtidos no ensaio com o OFSY 3 serviram também para a análise do OFSY 1 e do OFSY 2.

Por fim, sabendo os caudais e o tempo das várias fases de lavagem, agrupou-se os dados históricos ao longo de, aproximadamente, um mês (entre 28 de janeiro e 24 de fevereiro), e determinou-se uma estimativa para o número de lavagens mensais para cada um dos OFSYs.

No gráfico da Figura B.2 apresentam-se os caudais históricos de lavagem do OFSY3 ao longo do tempo referido.

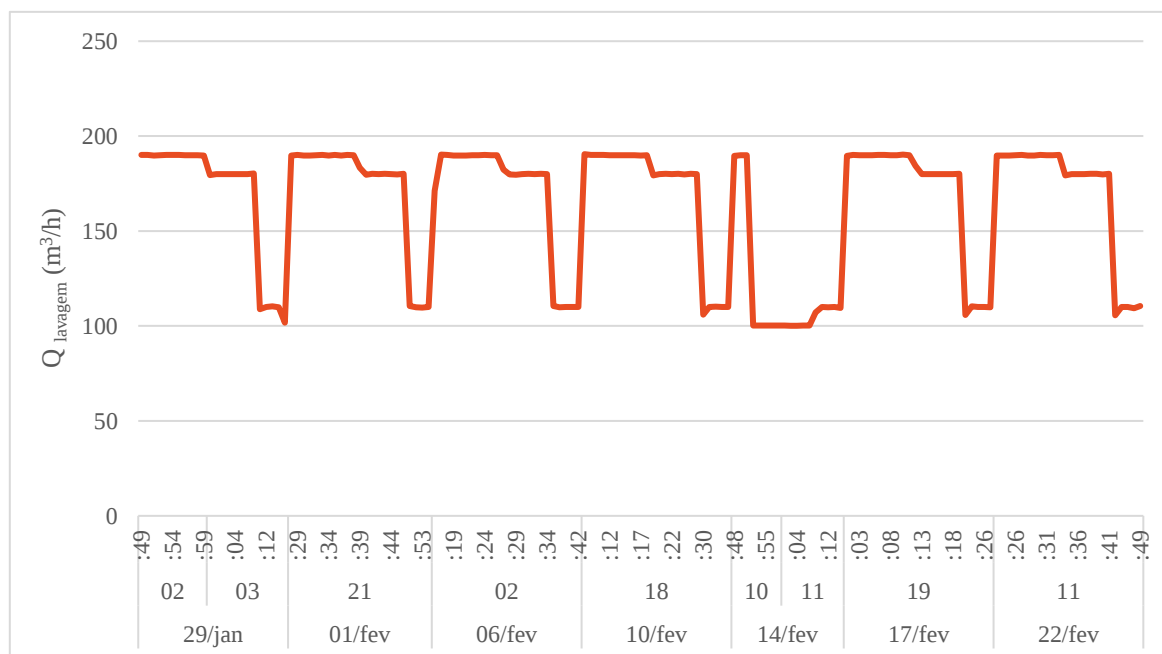


Figura B. 2 - Caudais de lavagem do OFSY 3 (m³/h), para cada minuto, entre 28/01 e 24/02.

Para cada um dos OFSYs, com base nos dados históricos, tal como já referido, e usando o software *Excel*, foi realizada a estimativa do número de lavagens mensais e

respetivo volume total de lavagens, para o mesmo período. Uma vez que os caudais são conhecidos, foi possível filtrar separadamente, recorrendo à ferramenta “Tabela Dinâmica” do *Excel*, os caudais correspondentes às lavagens e os correspondentes à operação de filtração, que são registados no *WinCC* em cada minuto. Assim, foi possível conhecer o número de lavagens mensal.

Na Tabela B.2 apresentam-se os resultados da contabilização do número de lavagens mensal para os OFSYs 1, 2 e 3, bem como o volume total gasto e que é encaminhado para a cisterna decantadora (Tabela 4.1).

Tabela B. 2 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os OFSYs 1,2 e 3 e respetivo volume total gasto (m³).

Equipamento	Minutos de lavagem	Número de lavagens	V gasto (m³)
OFSY 1	143	6,8	408,2
OFSY 2	138	6,6	393,9
OFSY 3	161	7,7	459,6
TOTAL (cisterna decantadora)			1261,7

Este ensaio permitiu obter uma estimativa mensal do volume de lavagem dos OFSYs que é enviado para a cisterna decantadora, isto é, igual a 1261,7 m³ e, além disso, este valor foi extrapolado para realizar uma estimativa anual, simplesmente multiplicando o resultado obtido por 12 meses (Tabela 5.6).

B.2. Filtros de Carvão (UR120-1 e UR120-2)

Quanto aos FC UR120, os caudais são contabilizados como sendo o somatório dos caudais de cada um dos OFSYs, medidos pelos caudalímetros já referidos. Realizou-se um ensaio de lavagem ao FC UR120-1 e, de seguida, efetuou-se a recolha, no *WinCC*, dos caudais desse ensaio (Figura B.3). O volume de água gasto nas várias etapas foi obtido, conhecido o tempo de cada uma delas (Tabela B.3).

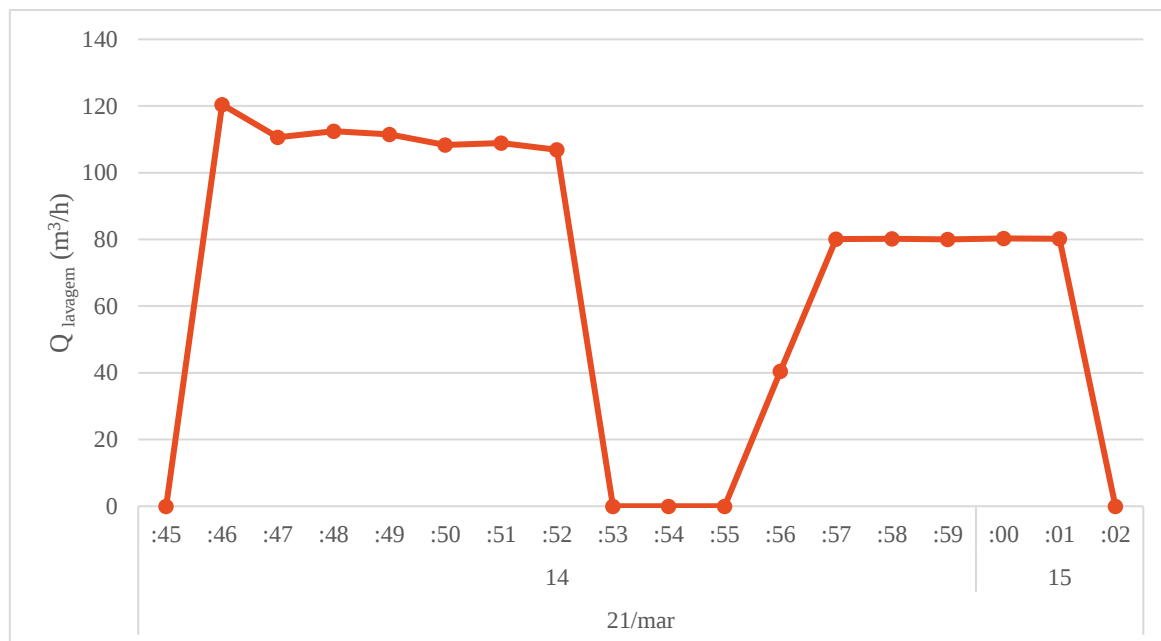


Figura B. 3 - Caudal (m³/h) ao longo do ensaio de lavagem ao FC UR120-1, no dia 21/03/2023.

Tabela B. 3 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao FC UR120-1, no dia 21/03/2023.

Equipamento	Fase de lavagem	Q médio (m³/h)	t (min)	V (m³)
FC UR120-1	Retrolavagem	110,6	6	11,1
	Pausa	0	3	0
	Lavagem final	80,2	5	6,7
TOTAL			14	17,7

Os FC UR120-1 e 2 são semelhantes entre si e, por isso, os resultados obtidos permitem a análise dos dois filtros.

De seguida agrupou-se os dados históricos ao longo de, aproximadamente, um mês (entre 28 de janeiro e 24 de fevereiro), e determinou-se uma estimativa para o número de lavagens mensais para cada um dos FC UR120.

Ora, devido à inexistência de caudalímetros à entrada de cada um destes filtros, não é possível conhecer os caudais alimentados aos dois filtros individualmente nem distinguir caudais de serviço dos caudais de lavagem. Logo, a estimativa do número médio de lavagens mensais teve por base o facto destes filtros entrarem em lavagem automática ao fim de 22h de filtração.

No gráfico da Figura B.4 apresentam-se os caudais históricos de funcionamento que são alimentados aos FC UR120-1 e 2 (inclui serviço, lavagens e momentos de paragem),

ao longo do tempo referido, não esquecendo que eles filtram água em simultâneo, excluindo o momento de lavagem de cada um deles.

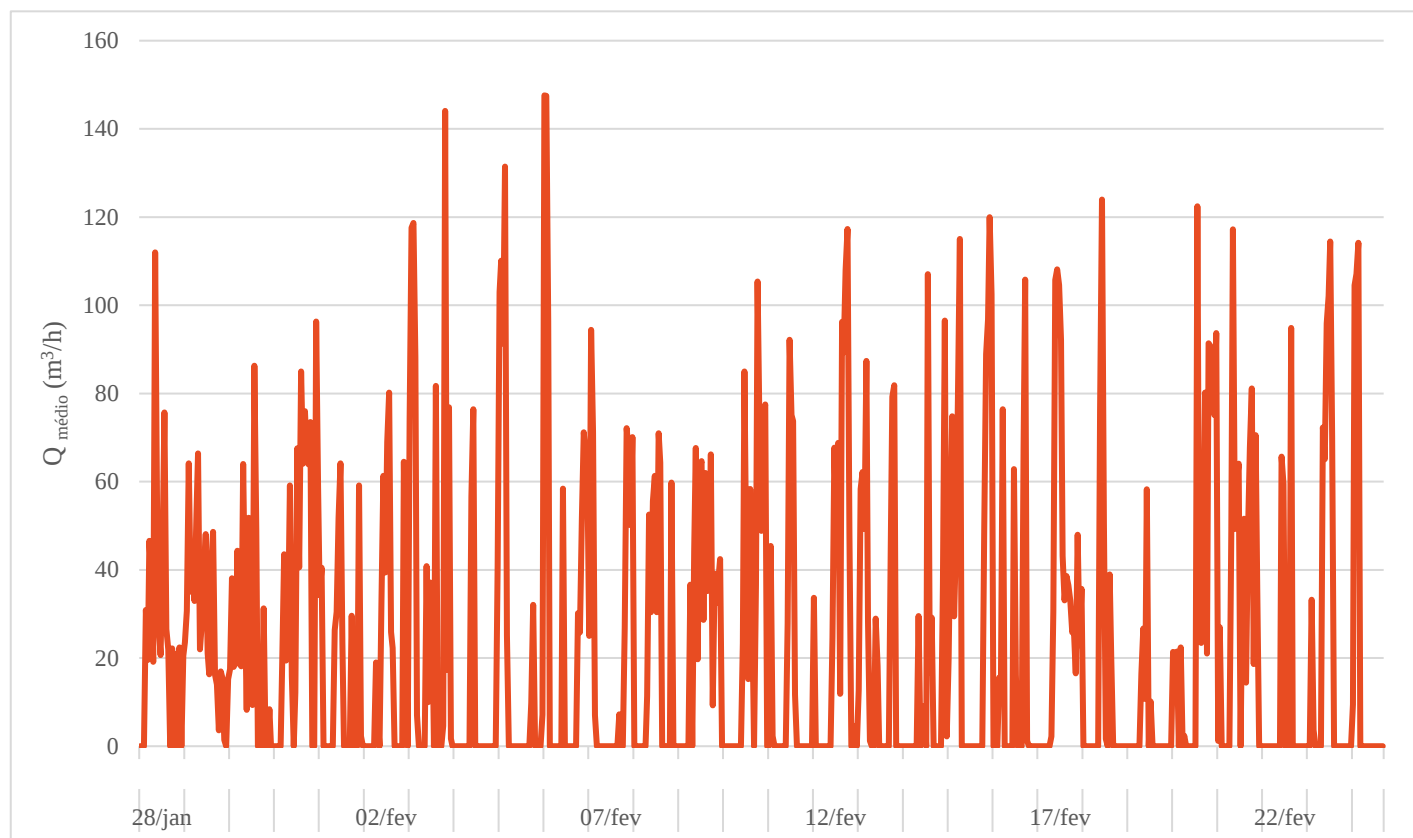


Figura B. 4 - Caudais médios (m^3/h) de funcionamento dos FC UR120, para cada hora, de 28/01 a 24/02.

Para cada um dos FC UR120, com base nos dados históricos (Figura B.4) e usando o software *Excel*, foi realizada a estimativa do número de lavagens mensais e respetivo volume total de lavagens, para o mesmo período.

Foi possível filtrar separadamente, recorrendo à ferramenta “Tabela Dinâmica” do *Excel*, os caudais correspondentes ao funcionamento e excluir os respetivos tempos de paragem, o que permitiu contabilizar o número de lavagens mensal.

Para ser possível realizar esta estimativa, dada a limitação da inexistência de caudalímetros, assume-se que os FC UR120-1 e 2 trabalham e entram em lavagem ao mesmo tempo, o que não corresponde exatamente à realidade.

Na Tabela B.4 apresentam-se os resultados da contabilização do número de lavagens mensal para os FC UR120-1 e 2, bem como o volume total gasto e que é encaminhado para a cisterna decantadora e para a C12 (Tabela 4.1).

Tabela B. 4 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR120-1 e 2 e respetivo volume total gasto (m^3).

Equipamento	Horas de trabalho	Número de lavagens	V decantadora (m^3)	V C12 (m^3)
FC UR120-1	117	5,3	58,6	35,4
FC UR120-2	117	5,3	58,6	35,4
TOTAL			117,2	70,8

Este ensaio permitiu obter uma estimativa mensal do volume de água de lavagem dos FC UR120 que é enviado para a cisterna decantadora e para a C12, correspondente a $117,2 m^3$ e $70,8 m^3$, respetivamente (Tabela 5.6).

B.3. Filtros de Carvão (UR100-1 e UR100-2)

À entrada de cada um dos FC UR100 também não existem medidores de caudal e, por isso, aquando da fase de operação, considera-se que o caudal é igual ao somatório dos caudais dos consumidores de água do processo.

Assim, adotou-se uma estratégia de contabilização da água de lavagem que consistiu em fechar todas as entradas e as restantes saídas das cisternas 4 e 5, o que permitiu quantificá-la pelo registo manual das diferenças de nível destas mesmas cisternas recorrendo, mais uma vez, ao *WinCC* para acompanhamento do ensaio em tempo real. No gráfico da Figura B.5 apresenta-se a variação de nível das cisternas 4 e 5 ao longo do ensaio de lavagem do FC UR100-2 no dia 22/03/2023.

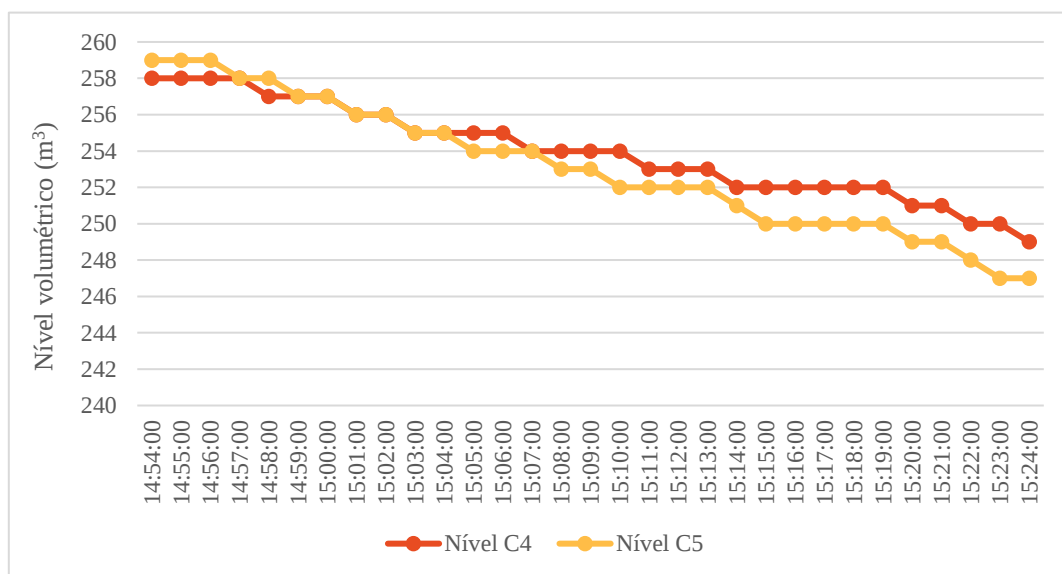


Figura B. 5 - Variação de nível das cisternas 4 e 5 (m^3) ao longo do ensaio de lavagem do FC UR100-2, no dia 22/03/2023.

Pelo ensaio realizado, e observando o gráfico da Figura B.5, entre as 14h54 e as 15h14 o filtro encontra-se em retrolavagem total, entre as 15h15 e as 15h18 encontra-se em pausa e entre as 15h19 e as 15h24 encontra-se em lavagem final. Considerou-se que o caudal da etapa de lavagem é igual ao caudal médio entre a retrolavagem total (Equação B.1) e a lavagem final (Equação B.2).

$$Q_{retrolavagem\ total} = \frac{(Nível\ C4_{(14h54)} - Nível\ C4_{(15h14)}) + (Nível\ C5_{(14h54)} - Nível\ C5_{(15h14)})}{t_{retrolavagem\ final} \times 60} \quad (B.1)$$

$$Q_{lavagem\ final} = \frac{(Nível\ C4_{(15h19)} - Nível\ C4_{(15h24)}) + (Nível\ C5_{(15h19)} - Nível\ C5_{(15h24)})}{t_{lavagem\ final} \times 60} \quad (B.2)$$

Na Tabela B.6 apresentam-se os caudais de lavagem médios obtidos pelo ensaio acima descrito para o FC UR100-2 no dia 22/03/2023.

Tabela B. 5 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao FC UR100-2, no dia 22/03/2023.

Equipamento	Fase de lavagem	Q médio (m³/h)	t (min)	V (m³)
FC UR100-2	Retrolavagem total	46,5	20	15,5
	Pausa	0	3	0
	Lavagem final	46,5	5	3,0
TOTAL			28	19,4

Como os FC UR100-1 e 2 são semelhantes entre si, os resultados obtidos permitem a análise dos dois filtros.

De seguida, agrupou-se os dados históricos ao longo de um mês (entre 27 de janeiro e 27 de fevereiro) com o objetivo de determinação de uma estimativa para o número de lavagens mensais para cada um dos FC UR100. Na Figura B.5 apresentam-se estes caudais históricos de funcionamento (inclui serviço, lavagens e momentos de paragem), ao longo do tempo referido.

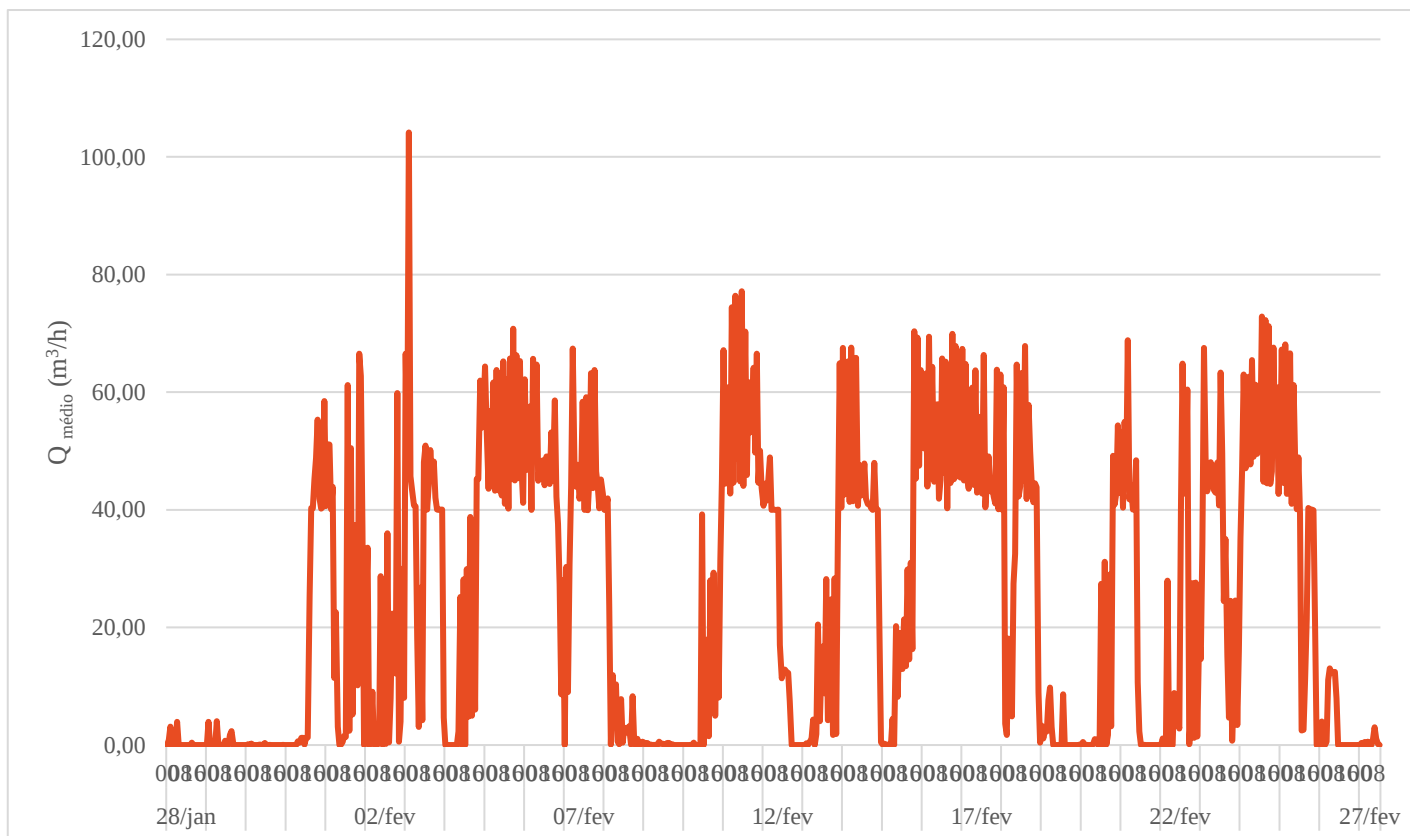


Figura B. 6 - Caudais médios (m^3/h) de funcionamento dos FC UR100, para cada hora, de 27/01 a 27/02.

Usando o Excel, recorreu-se à mesma estratégia utilizada para os FC UR120 para a estimativa do número de lavagens mensais para cada um dos FC UR100, mas tendo em consideração que estes entram em lavagem automática ao fim de 990 h de filtração.

De igual modo, para ser possível realizar esta estimativa dada a limitação da inexistência de caudalímetros, assume-se que os FC UR100-1 e 2 trabalham e entram em lavagem ao mesmo tempo, o que não corresponde exatamente à realidade.

Na Tabela B.6 apresentam-se os resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR100-1 e 2, bem como o volume total gasto e que é encaminhado para esgoto e para a cisterna decantadora.

Tabela B. 6 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR100-1 e 2 e respetivo volume total gasto (m^3).

Equipamento	Horas de trabalho	Número de lavagens	V _{esgoto} (m^3)	V _{decantadora} (m^3)
FC UR100-1	404	0,41	6,3	1,6
FC UR100-2	404	0,41	6,3	1,6
TOTAL			12,7	3,2

Este ensaio permitiu obter uma estimativa mensal do volume de água de lavagem dos FC UR100 que é enviado para esgoto, 3,2 m³, e para a cisterna decantadora, 12,7 m³ (Tabela 5.6).

B.4. Descalcificadores e Filtro de Carvão (UR84)

Existe um contador que totaliza o caudal alimentado aos dois descalcificadores e ainda um à entrada do FC UR84.

Realizou-se um ensaio de lavagem do Descalcificador 1 e, de seguida, efetuou-se a recolha, no WinCC, dos caudais desse ensaio (Figura B.7), calculando-se o volume de água gasto nas várias etapas, conhecido o tempo de cada uma delas (Tabela B.7).

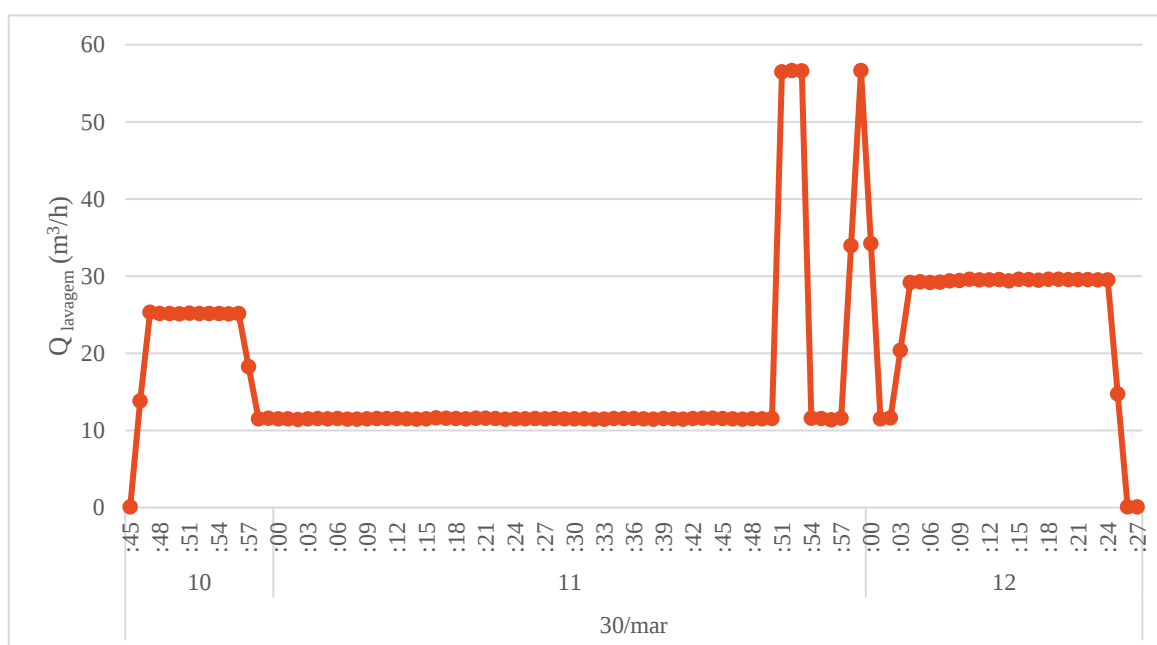


Figura B. 7 - Caudal (m³/h) ao longo do ensaio de lavagem ao Descalcificador 1, no dia 30/03/2023.

Os Descalcificadores 1 e 2 são semelhantes entre si e, por isso, os resultados obtidos no ensaio realizado serviram para a análise do segundo descalcificador.

Contabilizou-se também o caudal da água das fases de lavagem do FC UR84, efetuando-se igualmente a recolha dos dados no WinCC (Figura B.8) e o cálculo dos respetivos volumes de água (Tabela B.7).

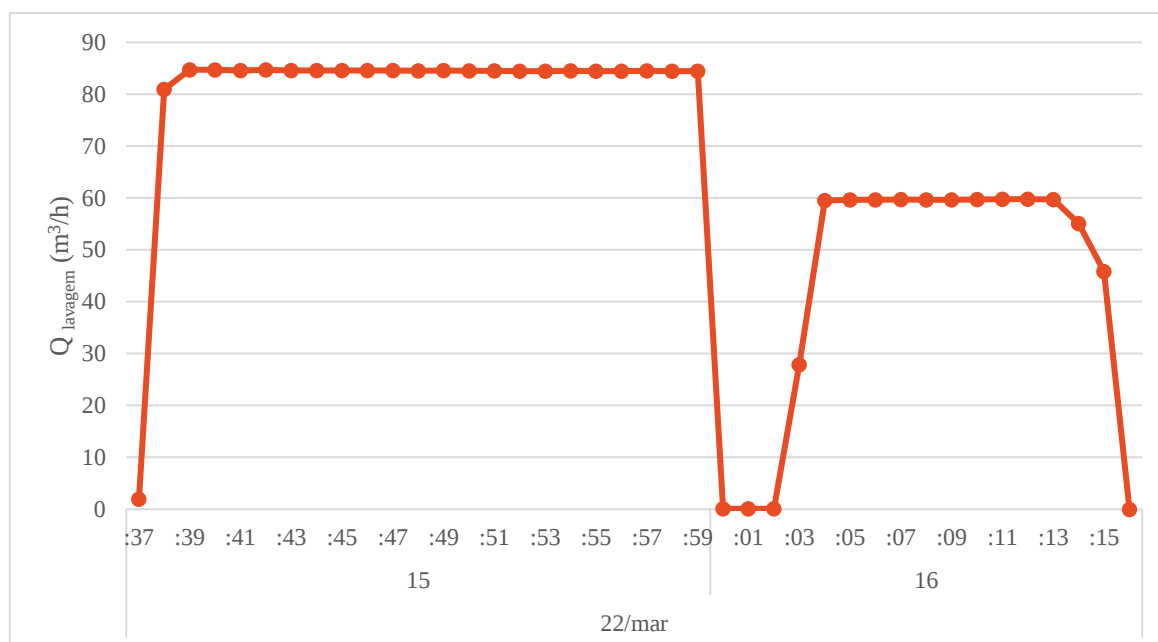


Figura B. 8 - Caudal (m³/h) ao longo do ensaio de lavagem ao FC UR84, no dia 22/03/2023.

Tabela B. 7 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao Descalcificador 1, no dia 30/03/2023, e ao FC UR84, no dia 22/03/2023.

Equipamento	Fase de operação	Q médio (m³/h)	t (min)	V (m³)
Descalcificador 1	Retrolavagem	26,3	10	4,21
	Regeneração	11,5	53	10,2
	Regeneração (atraso V1.5B)	56,6	2	1,9
	Regeneração	11,5	4	0,8
	Regeneração (atraso V1.5B)	56,6	2	1,9
	Regeneração	11,6	3	0,6
	Lavagem final	29,4	22	10,8
TOTAL				30,3
FC UR84	Retrolavagem	84,4	20	28,1
	Pausa	0	3	0
	Lavagem final	58,0	10	9,7
TOTAL				37,8

De seguida, agrupou-se os dados históricos ao longo de, aproximadamente, um mês (entre 28 de janeiro e 27 de fevereiro) com o objetivo de determinação de uma estimativa para o número de lavagens mensais para os descalcificadores e para o FC UR84. Na Figura B.9 apresentam-se estes caudais históricos de funcionamento destes equipamentos (inclui serviço, lavagens e momentos de paragem), ao longo do tempo referido.

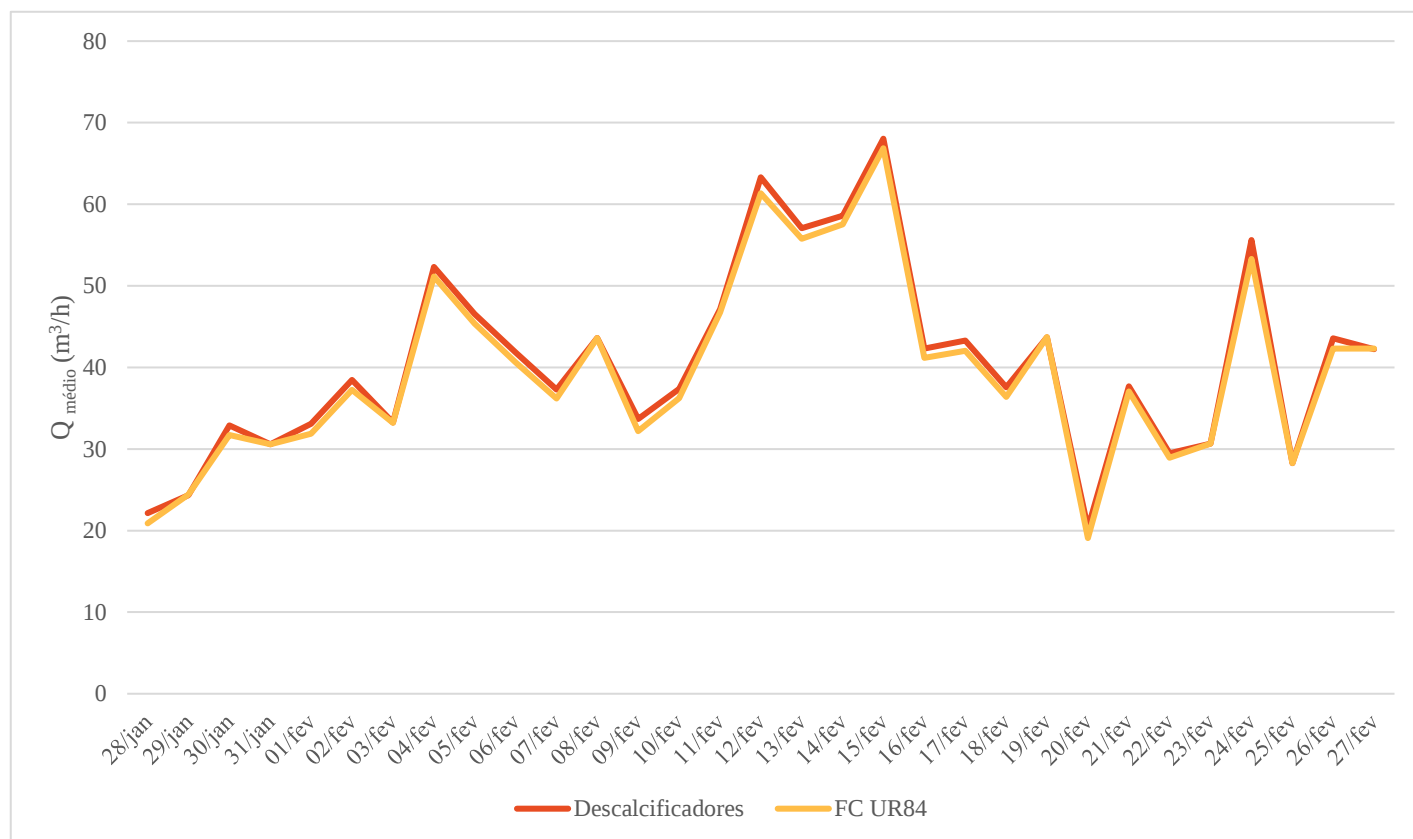


Figura B. 9 - Caudais médios (m³/h) de funcionamento dos Descalcificadores e do FC UR84, para cada dia, de 28/01 a 27/02.

No *Excel*, recorreu-se à mesma estratégia utilizada para os FC UR120 para a estimativa do número de lavagens mensais para cada um dos descalcificadores, mas tendo em consideração que estes entram em lavagem automática após filtrarem 1500 m³ de água, no caso do descalcificador 1, e 1000 m³, no caso do descalcificador 2, ou seja:

- utilização da função SOMA do Excel aplicada à coluna correspondente ao volume total filtrado, em m³, pelos descalcificadores, ao longo do período;
- consideração que o volume total filtrado por cada descalcificador é metade do total determinado anteriormente;

- cálculo do número de lavagens de cada descalcificador pela razão entre o volume total do descalcificador 1 por 1500 m³ e o volume total do descalcificador 2 por 1000 m³.

Como se observa pela explicação acima, para ser possível realizar esta estimativa, assume-se que os descalcificadores trabalham e entram em lavagem ao mesmo tempo, o que não corresponde exatamente à realidade.

Para o FC UR84 recorreu-se novamente à mesma estratégia utilizada para os FC UR120 para a estimativa do número de lavagens mensais, mas tendo em consideração que este entra em lavagem automática após 168h de filtração.

Por fim, determinou-se o volume total de lavagens, para os três equipamentos, para o mesmo período pelo produto entre o número total de lavagens e o volume já contabilizado (Tabela B.7).

Na Tabela B.8 e na Tabela B.9 apresentam-se os resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os Descalcificadores 1 e 2 e para o FC UR84, respetivamente, bem como o volume total gasto (Tabela 4.1).

Tabela B. 8 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os Descalcificadores 1 e 2 e respetivo volume total gasto (m³).

Equipamento	V filtrado (m ³)	Número de lavagens	V esgoto (m ³)
Descalcificador 1	13 958,5	9,3	281,8
Descalcificador 2	13 958,5	14,0	422,7
TOTAL			704,6

Tabela B. 9 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para o FC UR84 e respetivo volume total gasto (m³).

Equipamento	Horas de trabalho	Número de lavagens	V decantadora (m ³)	V c2 (m ³)
FC UR84	745	4,4	124,8	42,9

Estes ensaios permitiram obter uma estimativa mensal do volume de lavagem dos descalcificadores que é enviado para esgoto, 704,6 m³, e do volume de lavagem do FC UR84 que é enviado para a cisterna decantadora, 124,8 m³, e para a cisterna 2, 42,9 m³ (Tabela 5.6).

B.5. Filtros de Carvão (UR72-1 e UR72-2)

Para os FC UR72 também não existem medidores de caudal à entrada de cada um deles e, por isso, aquando da fase de operação, considera-se que é igual ao somatório dos caudais dos consumidores de água de diluição.

Assim, adotou-se uma estratégia de contabilização da água de lavagem que consistiu no registo manual, ao longo do ensaio, do variador de velocidade e respetiva pressão da bomba que alimenta os filtros (M20.1), recorrendo ao *WinCC*, e, posteriormente, na consulta da curva característica da mesma para determinar o caudal debitado pela mesma.

Ora, durante o ensaio verificou-se que a velocidade da bomba M20.1 se manteve em 70% e que a pressão no coletor de distribuição de água de diluição se manteve em 2,4 bar (altura manométrica da bomba aproximadamente 24 m). Esta bomba é da marca *GRUNDFOS*, tipo CRN64-3-1 A-F-G-E-HQQE, modelo A96123780P11310 e a sua curva característica e respetivo ponto de funcionamento durante o ensaio de lavagem ao FC UR72-1 encontra-se na Figura B.10 (*GRUNDFOS*, 2023).

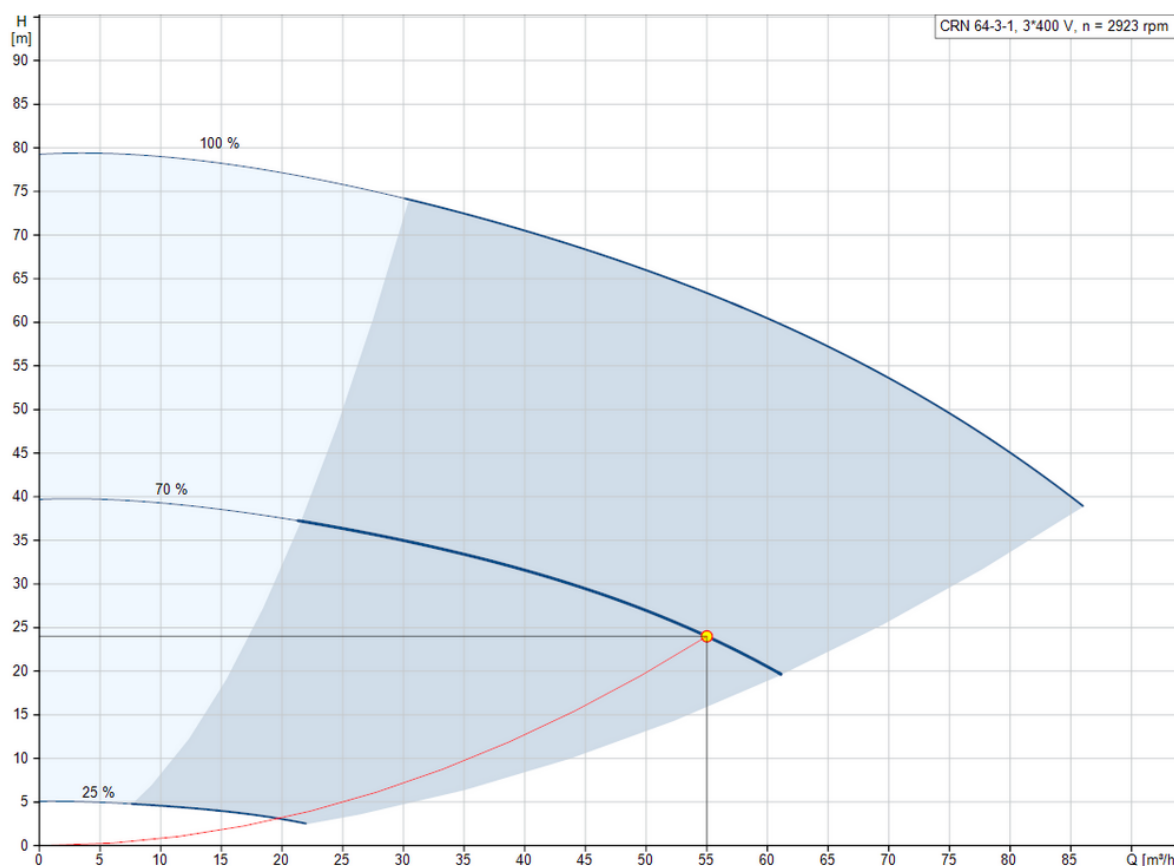


Figura B. 10 - Curva característica da bomba M20.1 no ponto de funcionamento ao longo do ensaio de lavagem do FC UR72-1.

Pela curva característica verifica-se que o caudal médio debitado pela bomba nas condições referidas é cerca de 55 m³/h. Assim, na Tabela B.10 apresentam-se os caudais de lavagem médios obtidos pelo ensaio acima descrito para o FC UR71-1 no dia 21/03/2023.

Tabela B. 10 - Caudais de lavagem obtidos pelo ensaio realizado ao FC UR72-1, no dia 21/03/2023.

Equipamento	Fase de operação	Q médio (m ³ /h)	t (min)	V (m ³)
FC UR72-1	Retrolavagem	55,0	20	18,3
	Pausa	0	2	0
	Lavagem final	55,0	3	2,8
TOTAL			25	21,1

Os FC UR72-1 e 2 são semelhantes entre si e, por isso, os resultados obtidos para o ensaio relativo ao 1 serviram também para a análise do outro.

De seguida, agrupou-se os dados históricos ao longo de um mês (entre 22 de fevereiro e 22 de março) com o objetivo de determinação da estimativa para o número de lavagens mensais para cada um dos FC UR72. Na Figura B.11 apresentam-se estes caudais históricos de funcionamento (inclui serviço, lavagens e momentos de paragem), ao longo do tempo referido.

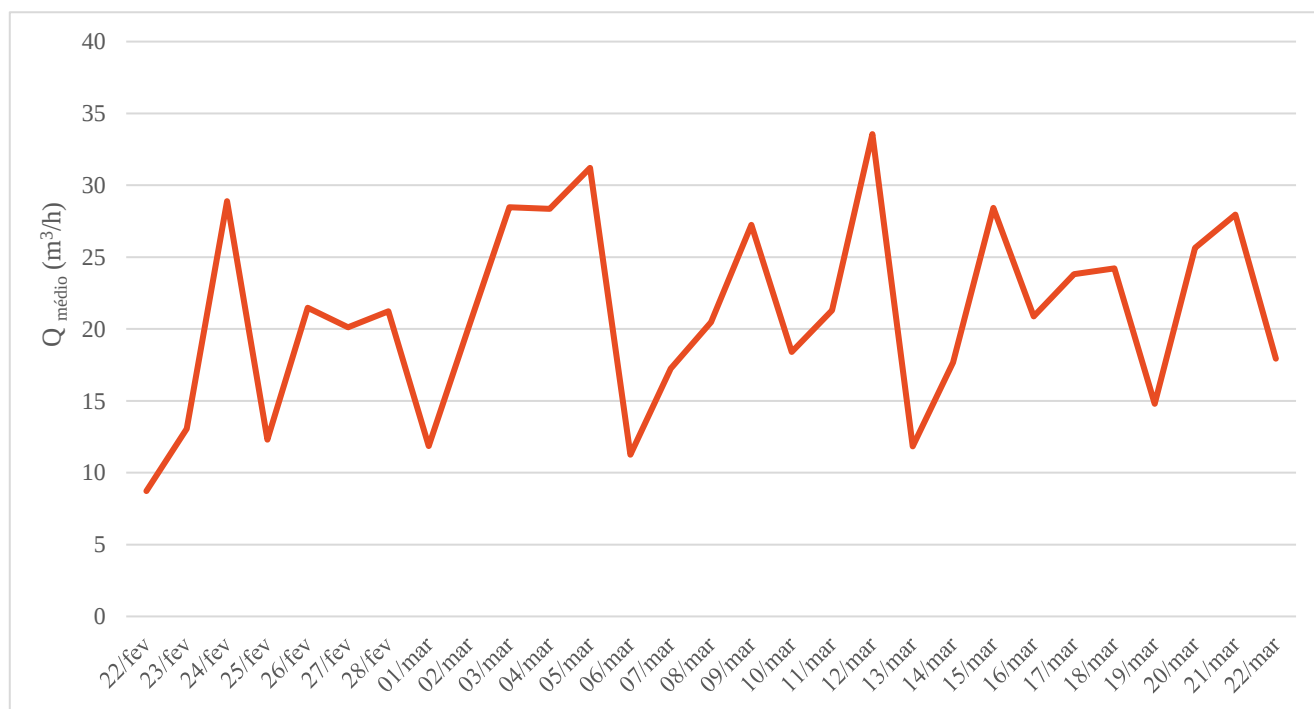


Figura B. 11 - Caudais médios (m³/h) de funcionamento dos FC UR72, para cada dia, de 22/02 a 22/03.

No *Excel*, recorreu-se à mesma estratégia utilizada para os FC UR120 para a estimativa do número de lavagens mensais para cada um dos FC UR72, mas tendo em consideração que estes entram em lavagem automática ao fim de 500h de filtração.

Mais uma vez, de modo a ser possível realizar esta estimativa, assume-se que os FC UR72-1 e 2 trabalham e entram em lavagem ao mesmo tempo, o que não corresponde exatamente à realidade.

Determinou-se o volume total de lavagens para o mesmo período pelo produto entre o número total de lavagens e o volume já contabilizado (Tabela B.10). Assim, na Tabela B.11 apresentam-se os resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR72-1 e 2, bem como o volume total gasto e que é encaminhado para esgoto (Tabela 4.1).

Tabela B. 11 - Resumo dos resultados da contabilização do número de lavagens mensais para os FC UR72-1 e 2 e respetivo volume total gasto (m^3).

Equipamento	Horas de trabalho	Número de lavagens	V _{esgoto} (m^3)
FC UR72-1	672	1,3	28,3
FC UR72-2	672	1,3	28,3
TOTAL			56,7

Este ensaio permitiu obter uma estimativa mensal do volume de lavagem dos FC UR72 que é enviado para esgoto, $56,7 m^3$ (Tabela 5.6).

Por fim, no gráfico da Figura B.12 pode consultar-se a fração, em %, da contribuição do volume de lavagem dos equipamentos – OFSYs, FC UR120, FC UR100 e FC UR84 – para o volume total das lavagens direcionadas para a cisterna decantadora.

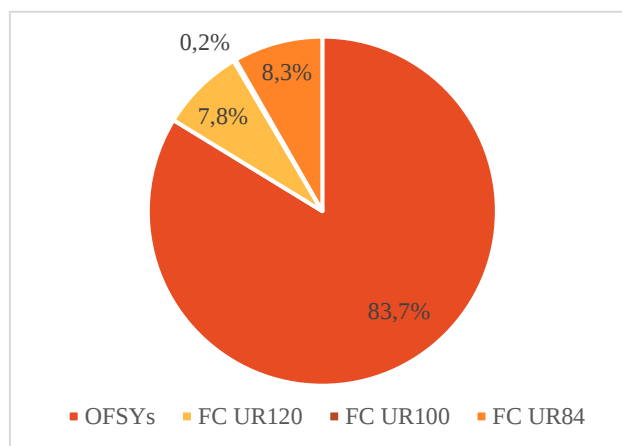


Figura B. 12 - Fração (%) do volume de lavagem dos equipamentos considerados direcionados para a decantadora.

B.6. Cisterna decantadora

Tal como já referido no subcapítulo 5.4, identificou-se que a cisterna decantadora transborda com frequência, como se apresenta nas Figuras B.13 e B.14.



Figura B. 13 - Fotografia da cisterna decantadora da ETA do SBG.



Figura B. 14 - Fotografia da cisterna decantadora a transbordar para esgoto por falta de capacidade.

Com isto, e após os ensaios realizados às lavagens dos filtros, anteriormente explicados (Anexos B.1 a B.5), implementou-se um registo manual ao longo de 25 dias (05/05 a 29/05), efetuado pelos técnicos das centrais, que permitiu a contabilização do volume de água transbordada pela cisterna decantadora. Registou-se a data, a hora, o nível da cisterna e o tempo de decantação no instante do início da lavagem de cada um dos filtros que contribuem para o volume da cisterna (OFSYs, FC UR120, FC UR100 e FC UR84).

Ora, graças aos resultados dos ensaios já realizados foi possível calcular o tempo de decantação no final de cada lavagem, o volume de lavagem que foi direcionado para a cisterna decantadora e, por fim, o cálculo do volume transbordado (capacidade máxima da cisterna é 150 m^3), tal como se pode consultar nas Tabelas B.12 e B.13.

Tabela B. 12 - Registo manual da lavagem dos filtros e cisterna decantadora ao longo de 25 dias (05/05 a 29/05).

Data	Equipamento em lavagem	Hora início	Hora fim	Tempo decantação início (min)	Tempo decantação fim (min)	Nível decantadora início (m³)	Nível decantadora + V lavagem (m³)	Volume transbordado (m³)
05/05/2023	OFSY1	21:58	22:22	600	0	93	153	3
06/05/2023	OFSY2	4:12	4:36	343	0	137	197	47
08/05/2023	FC UR100-1	8:25	8:53	600	600	66	70	-
08/05/2023	FC UR100-1	18:00	18:28	600	600	110	114	-
09/05/2023	FC UR120-1	2:45	2:59	600	600	142	153	3
09/05/2023	OFSY1	3:00	3:24	600	0	150	210	60
09/05/2023	FCUR120-2	3:25	3:39	600	600	150	161	11
09/05/2023	OFSY3	4:10	4:34	600	0	150	210	60
09/05/2023	OFSY2	10:14	10:38	331	0	143	203	53
11/05/2023	FC UR84	1:39	2:12	600	600	66	94	-
11/05/2023	FC UR100-1	8:56	9:24	600	600	111	115	-
12/05/2023	FC UR100-2	8:50	9:18	600	600	143	147	-
12/05/2023	OFSY1	20:00	20:24	600	0	85	145	-
13/05/2023	FC UR120-1	1:14	1:28	290	304	91	102	-
13/05/2023	OFSY3	1:29	1:53	305	0	103	163	13
13/05/2023	FC UR120-2	1:53	2:07	0	14	150	161	11
13/05/2023	OFSY2	18:20	18:44	600	0	40	100	-
15/05/2023	FC UR100-1	12:00	12:28	600	600	85	89	-
15/05/2023	OFSY1	15:22	15:46	600	0	150	210	60
16/05/2023	OFSY3	11:20	11:44	600	0	96	156	6
16/05/2023	FC UR100-2	13:00	13:28	174	202	117	121	-
16/05/2023	OFSY2	13:26	13:50	200	0	146	206	56

Tabela B. 13 - Registo manual da lavagem dos filtros e cisterna decantadora ao longo de 25 dias (05/05 a 29/05) (continuação).

Data	Equipamento em lavagem	Hora início	Hora fim	Tempo decantação início (min)	Tempo decantação fim (min)	Nível decantadora início (m³)	Nível decantadora + V lavagem (m³)	Volume transbordado (m³)
17/05/2023	FC UR120-1	9:50	10:04	600	600	38	49	-
17/05/2023	FC UR120-2	10:20	10:34	600	600	46	57	-
18/05/2023	FC UR100-1	11:00	11:28	600	600	102	106	-
18/05/2023	FC UR84	19:27	20:00	600	600	136	164	14
19/05/2023	OFSY1	6:46	7:10	600	0	150	210	60
19/05/2023	OFSY3	7:12	7:36	26	0	150	210	60
19/05/2023	FC UR100-2	10:25	10:53	427	455	143	147	-
20/05/2023	OFSY2	0:28	0:52	600	0	87	147	-
22/05/2023	FC UR100-1	1:28	1:56	600	600	73	77	-
22/05/2023	FC UR100-2	2:07	2:35	600	600	84	88	-
23/05/2023	OFSY2	4:34	4:58	600	0	144	204	54
23/05/2023	FC UR100-2	8:03	8:31	193	221	143	147	-
26/05/2023	OFSY3	15:27	15:51	600	0	144	204	54
27/05/2023	FC UR100-1	11:30	11:58	600	600	124	128	-
27/05/2023	FC UR100-2	12:05	12:33	600	600	144	148	-
28/05/2023	FC UR 84	15:13	15:46	600	600	52	80	-
29/05/2023	FC UR 100-1	8:30	8:58	600	600	116	120	-
29/05/2023	OFSY1	19:48	20:12	600	0	144	204	54
29/05/2023	OFSY3	20:20	20:44	600	0	150	210	60

Pelos registos apresentados, contabilizou-se que o fenómeno de transbordo da cisterna se verificou 41 vezes ao longo dos 25 dias, representando um total de 738 m³ em volume.

É importante notar-se que, para realização desta análise optou-se por não contabilizar o volume direcionado para a decantadora relativo às fases de esterilização dos filtros de carvão e à etapa de arrefecimento do mosto, já que não foi possível quantificar esses volumes durante o tempo útil de estágio.

No entanto, também pelo registo (Tabelas B.12 e B.13) se verifica que, de facto, existe um volume de água que é direcionado para a cisterna decantadora e que não foi contabilizado nas lavagens registadas. Este volume é igual a 415 m³ e pode representar os parâmetros referidos acima, bem como eventuais lavagens que não tenham sido registadas, dada a natureza do tipo de registo. Com isto, facilmente se reforça uma vez mais a necessidade de um estudo aprofundado desta cisterna.

Anexo C – Monitorização e previsão de consumos

Este anexo dedica-se à demonstração dos restantes relatórios realizados em *Power BI* e que não são apresentados nos subcapítulos 5.5 e 5.6. Apresentam-se também as equações de regressão obtidas para os modelos de previsão de consumos de água, anteriormente explicados no subcapítulo 4.6.

Quanto aos relatórios em *Power BI*, pode encontrar-se uma primeira página de capa onde o utilizador pode optar por consultar a análise ou a previsão de consumos (Figura C.1).



Figura C. 1 - Página de capa do documento criado em Power BI.

C.1. Análise de consumos

Relativamente à análise de consumos, apresenta-se primeiramente a análise mensal à água captada, presente nos restantes relatórios, isto é, para 2019, 2020 e 2021 (Figuras C.2 a C.4).

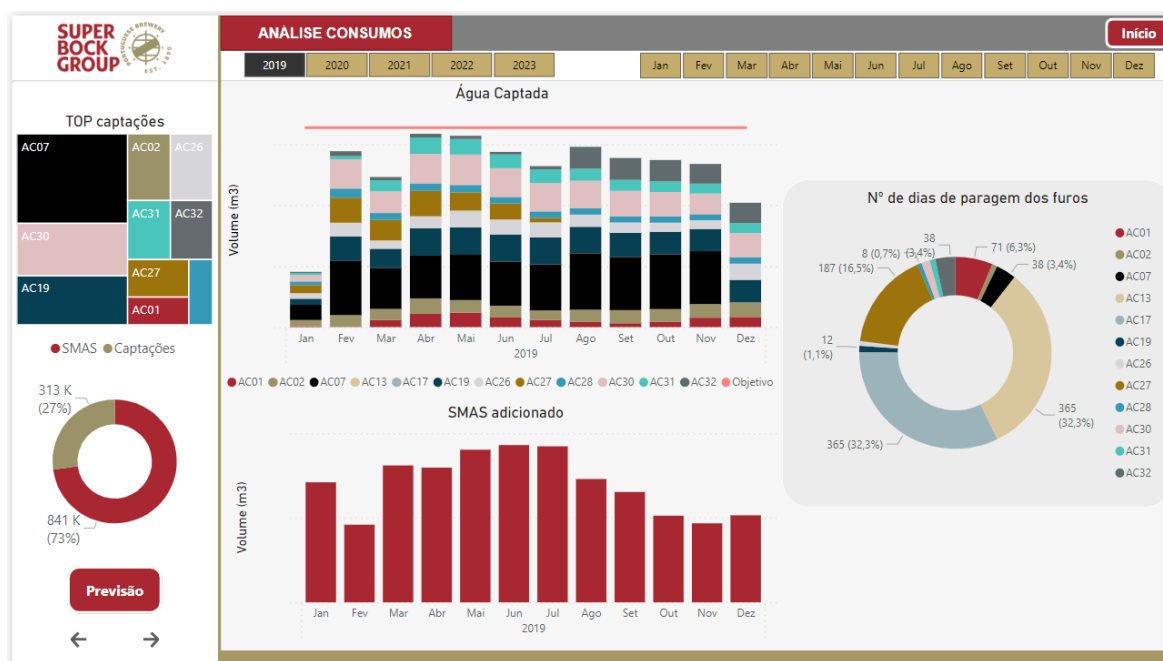


Figura C. 2 - Relatório mensal relativo à água captada para 2019.

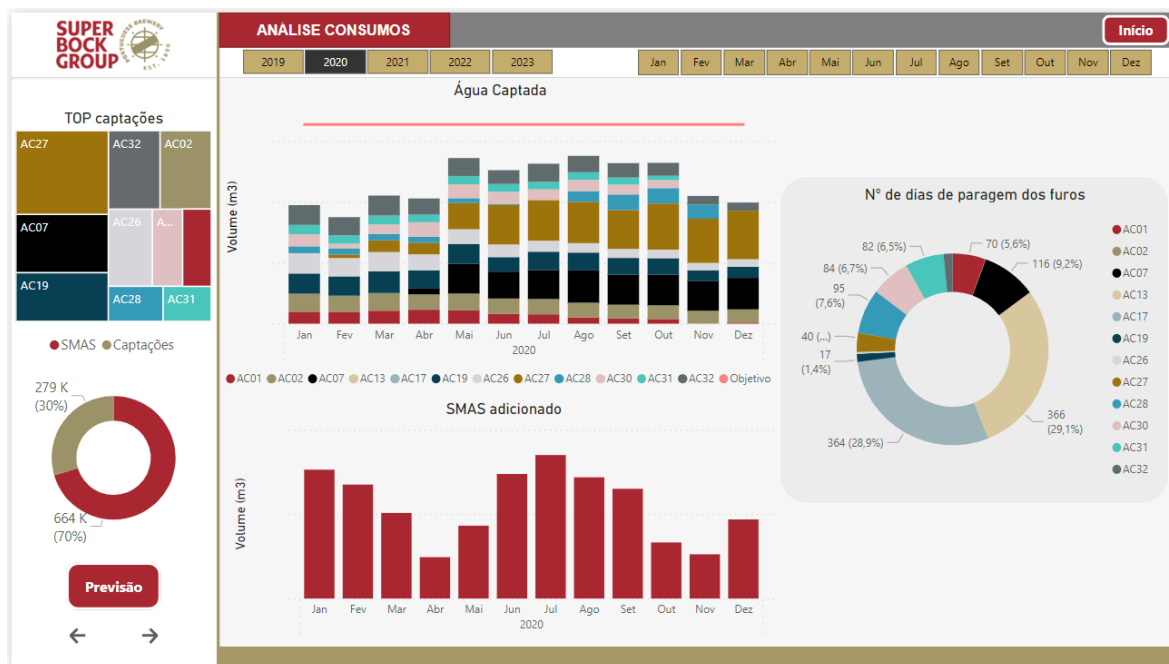


Figura C. 3 - Relatório mensal relativo à água captada para 2020

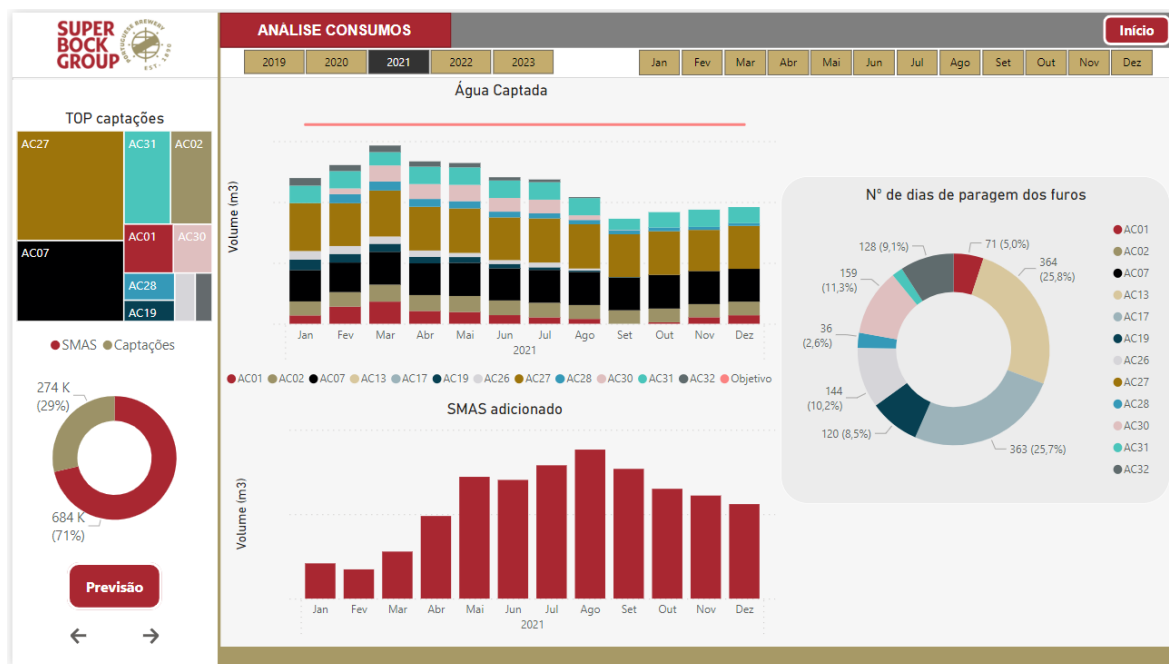


Figura C. 4 - Relatório mensal relativo à água captada para 2021.

Na Figura C.5 apresenta-se a evolução do volume de água captada desde janeiro de 2019 a maio de 2023.

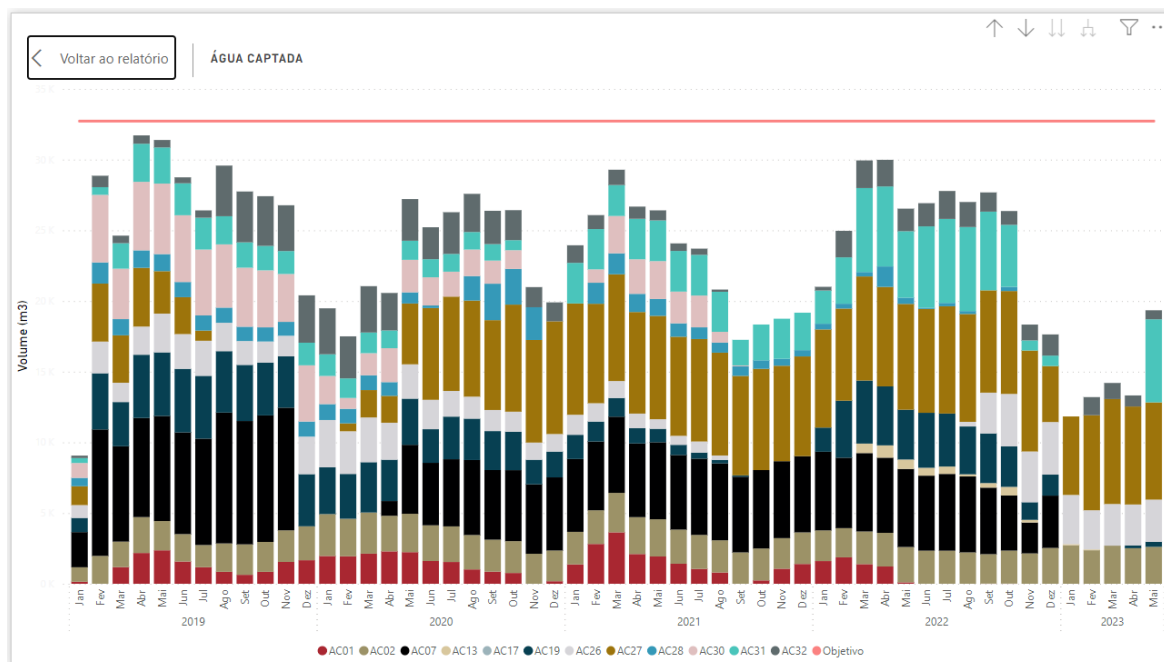


Figura C. 5 - Evolução do volume de água captada, de janeiro de 2019 a maio de 2023, comparativamente com o objetivo estabelecido.

Ora, pelo gráfico da Figura C.5, verifica-se que, comparativamente ao período de 2019 a 2021, a partir de 2022 a variedade de furos ativos diminuiu. Em 2023 ocorreu um decréscimo significativo da quantidade de água captada, tal como já discutido pela observação da Figura 5.12 no subcapítulo 5.5. É ainda possível afirmar, pela Figura C.5, que o volume de água captada parece apresentar uma certa sazonalidade, sendo que começa a aumentar após o final de cada ano. Isto acontece porque é costume fazer-se a manutenção às bombas dos furos nesse período.

De seguida, apresentam-se, nas Figuras C.6 a C.8, a análise mensal do KPI global, para 2020, 2021 e 2023 (até maio).

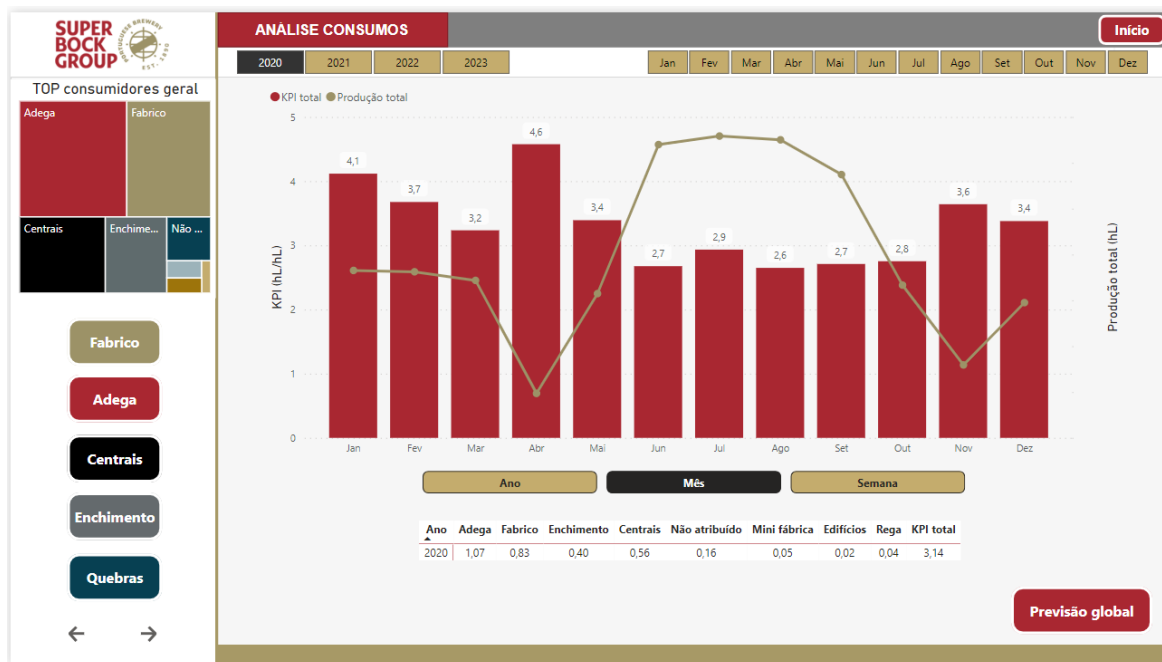


Figura C. 6 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2020.

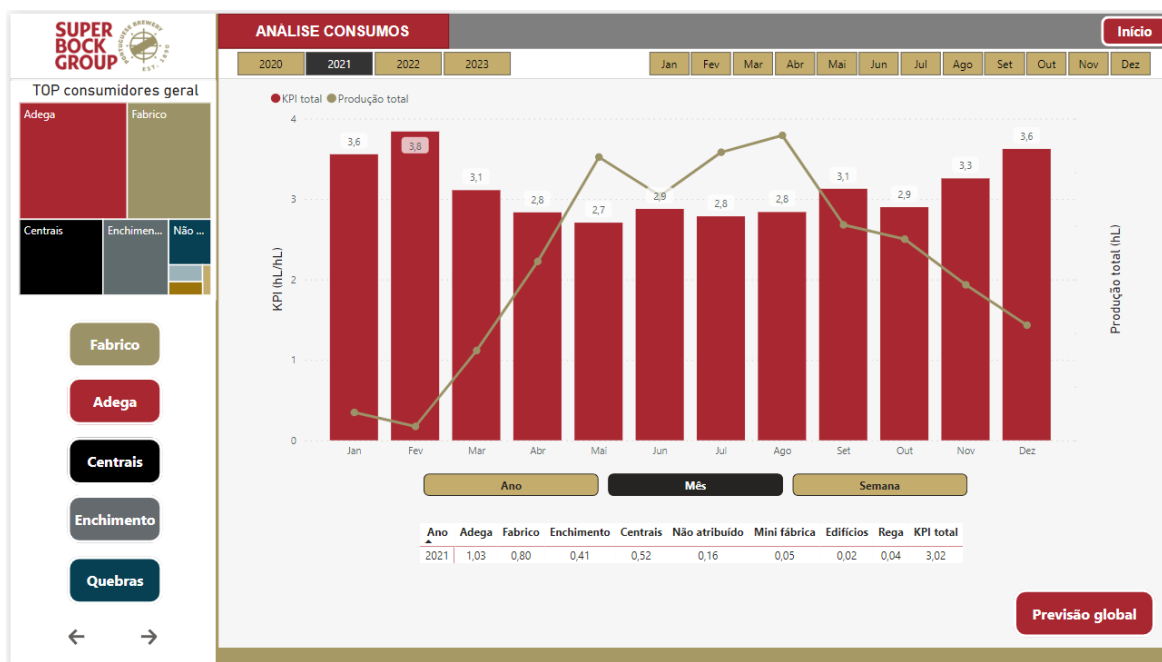


Figura C. 7 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2021.



Figura C. 8 - Relatório mensal relativo ao KPI global para 2023 (até maio).

De seguida, apresentam-se, nas Figuras C.9 a C.12, a análise mensal do KPI para cada uma das áreas – Fabrico, Adega, Centrais e Enchimento – para o exemplo de 2022.

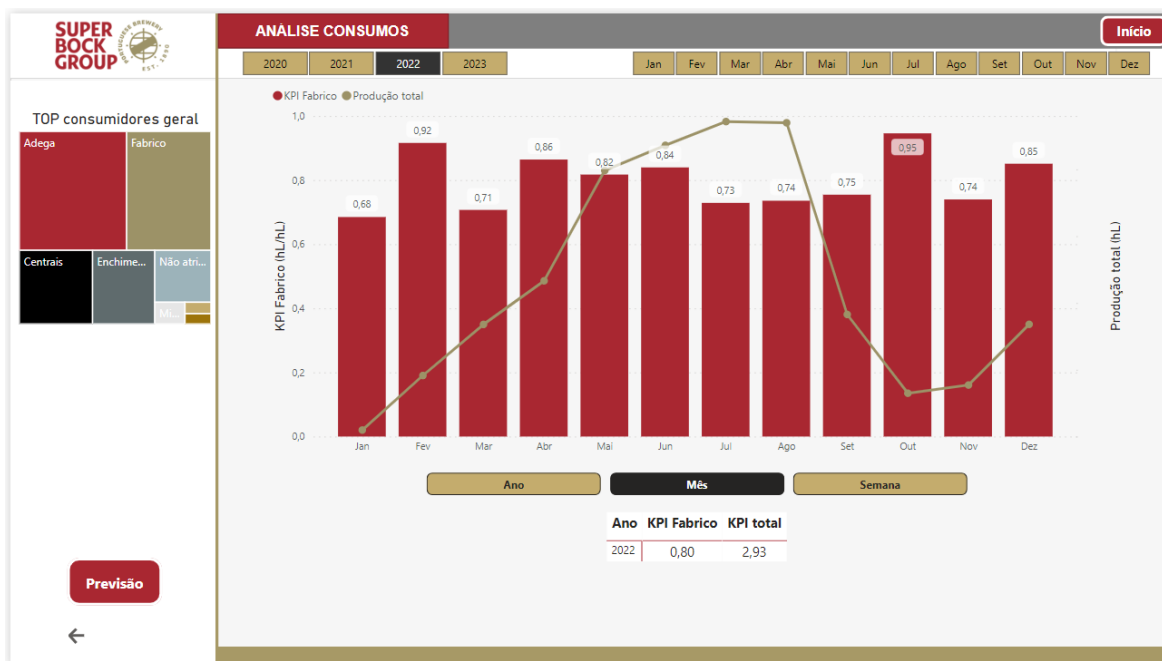


Figura C. 9 - Relatório mensal relativo ao KPI do Fabrico para 2022.

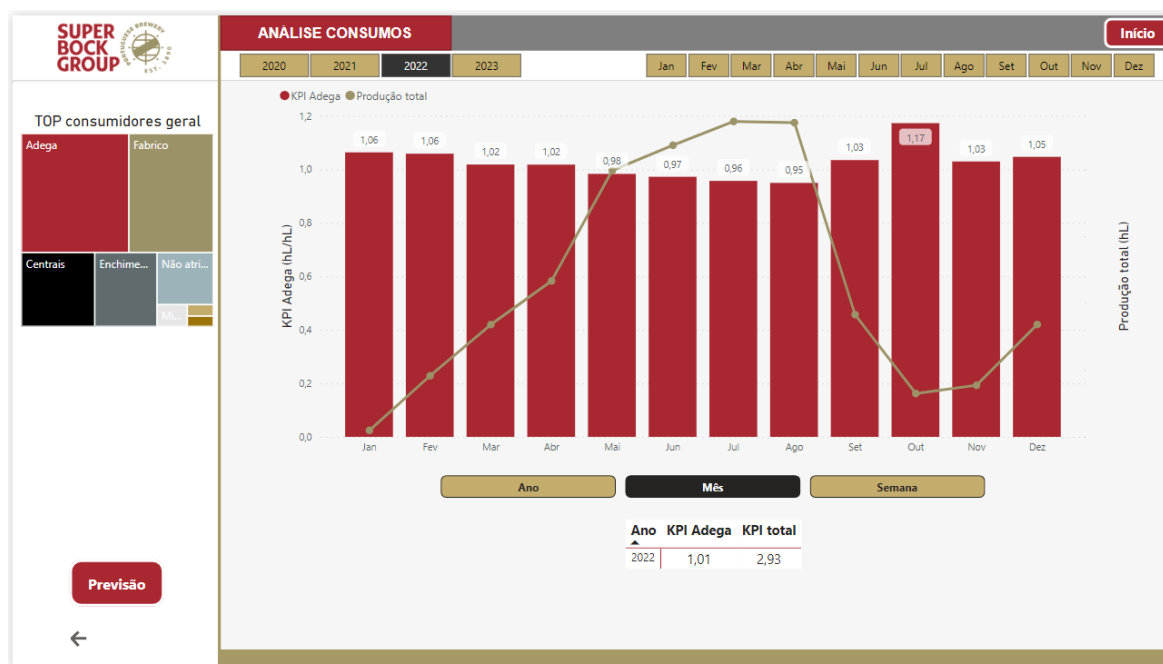


Figura C. 10 - Relatório mensal relativo ao KPI da Adega para 2022.

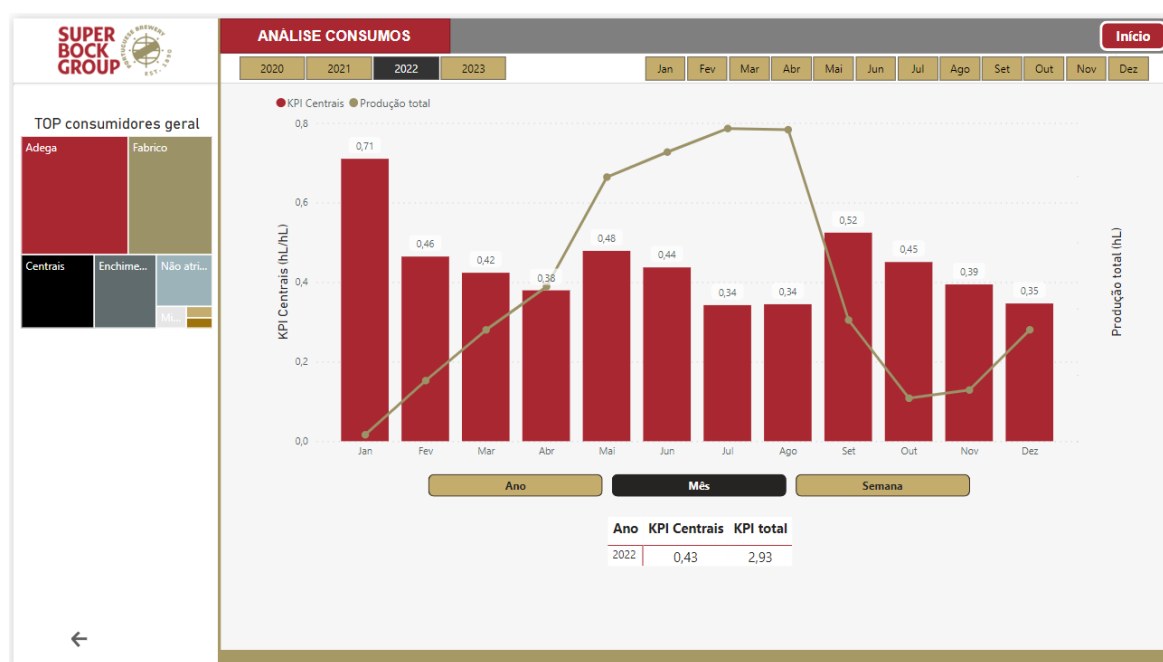


Figura C. 11 - Relatório mensal relativo ao KPI das Centrais para 2022.

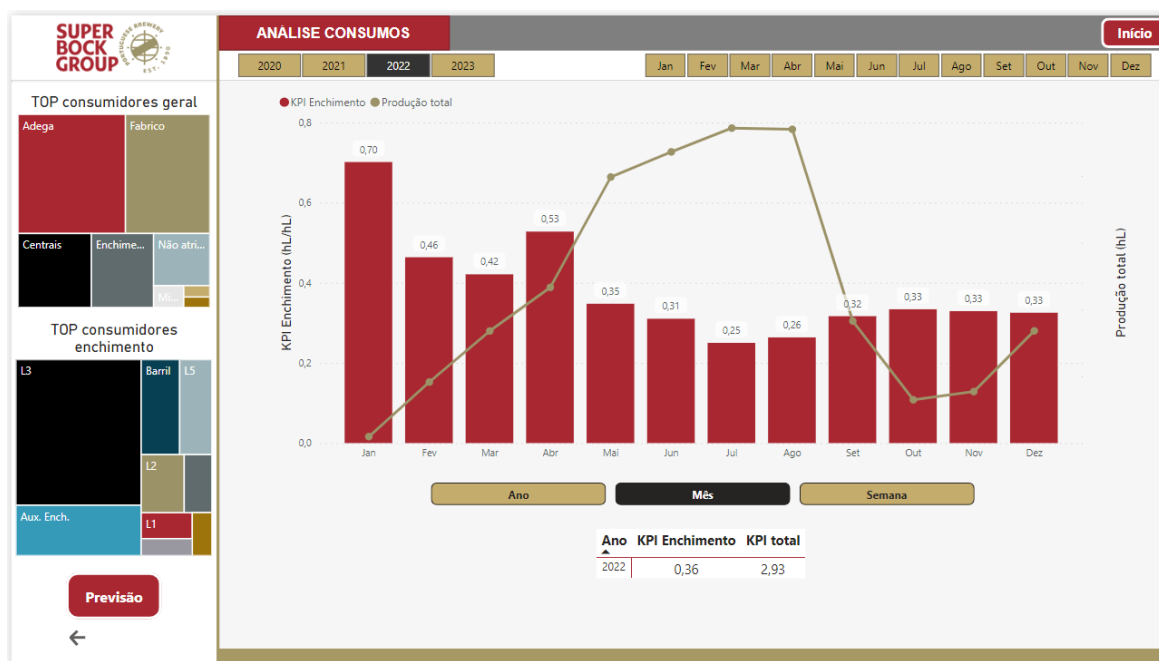


Figura C. 12 - Relatório mensal relativo ao KPI do Enchimento para 2022.

Na Figuras C.13, apresenta-se a análise às quebras do sistema, para o exemplo de 2022.



Figura C. 13 - Relatório mensal relativo às quebras para 2022.

Na Figura C.13 observa-se, à esquerda, o balanço ao sistema, já apresentado na Figura 5.1 do subcapítulo 5.1 e, à direita, a evolução do KPI não atribuído comparativamente

com a evolução do volume de água captada, do volume de produção e do volume representativo da quebra do sistema.

Por fim, apresentam-se, nas Figuras C.14 a C.17, a análise mensal do consumo e produção da água industrial presente nos restantes relatórios, isto é, para 2019, 2020, 2021 e 2023 (até maio).

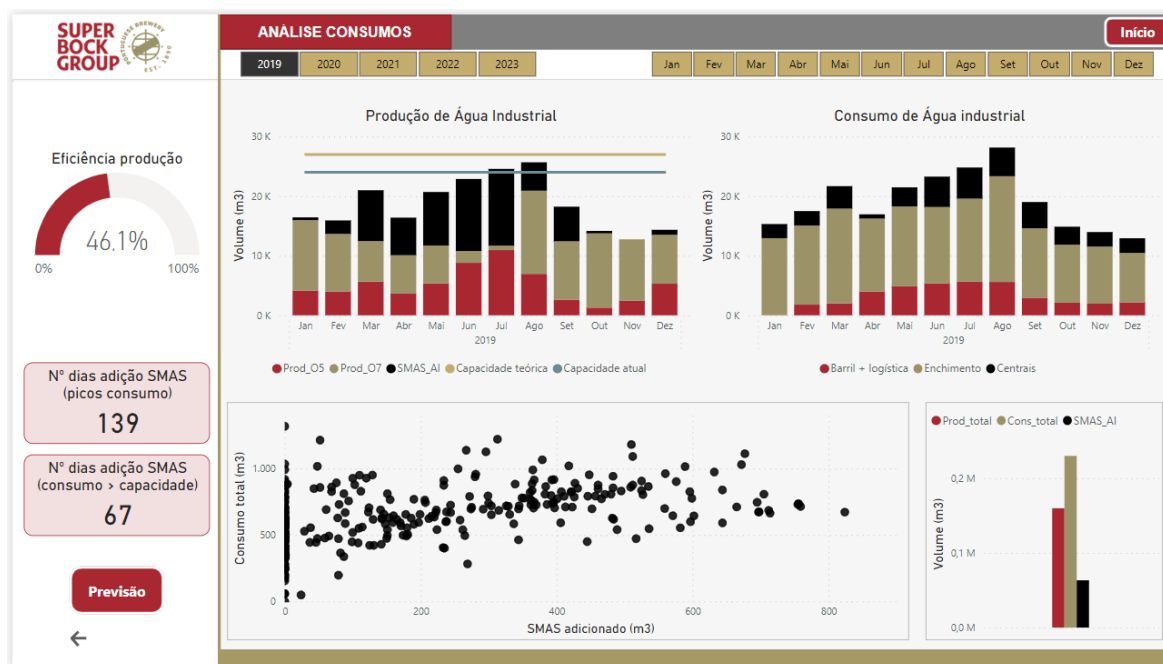


Figura C. 14 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2019.

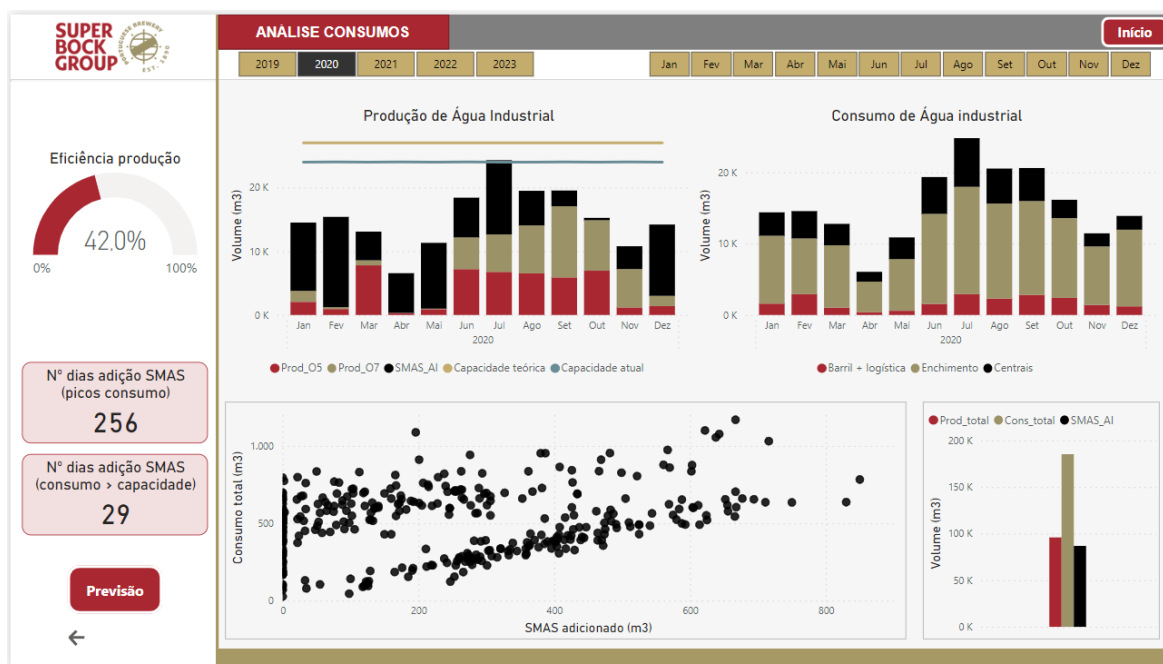


Figura C. 15 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2020.

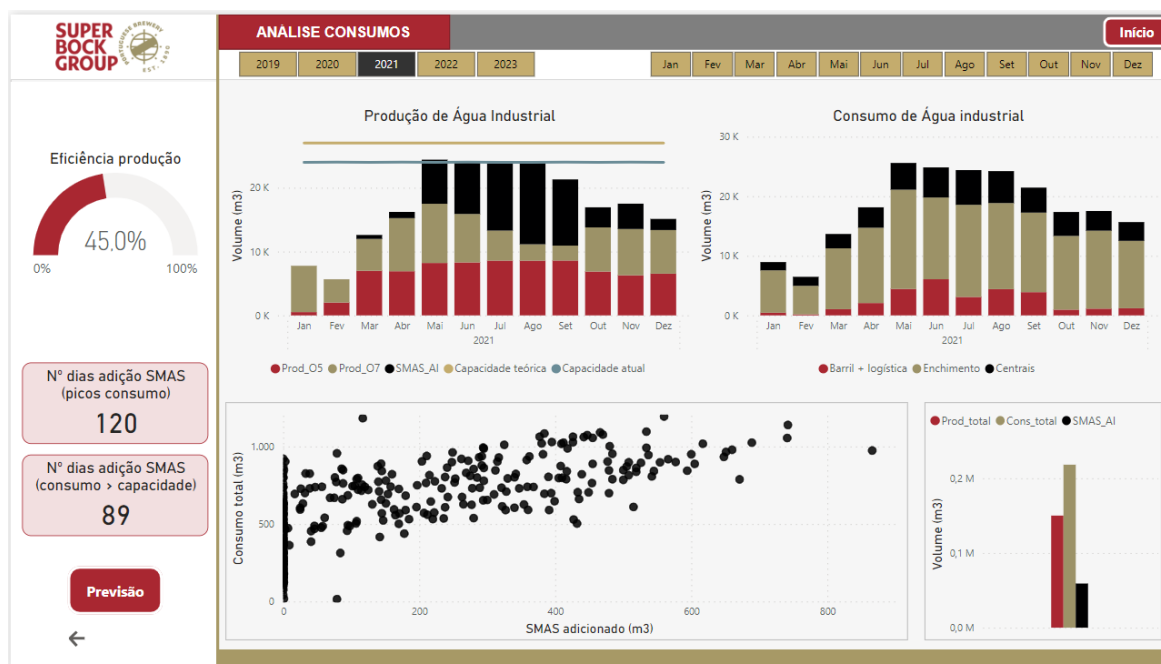


Figura C. 16 - Relatório mensal relativo à água industrial para 2021.

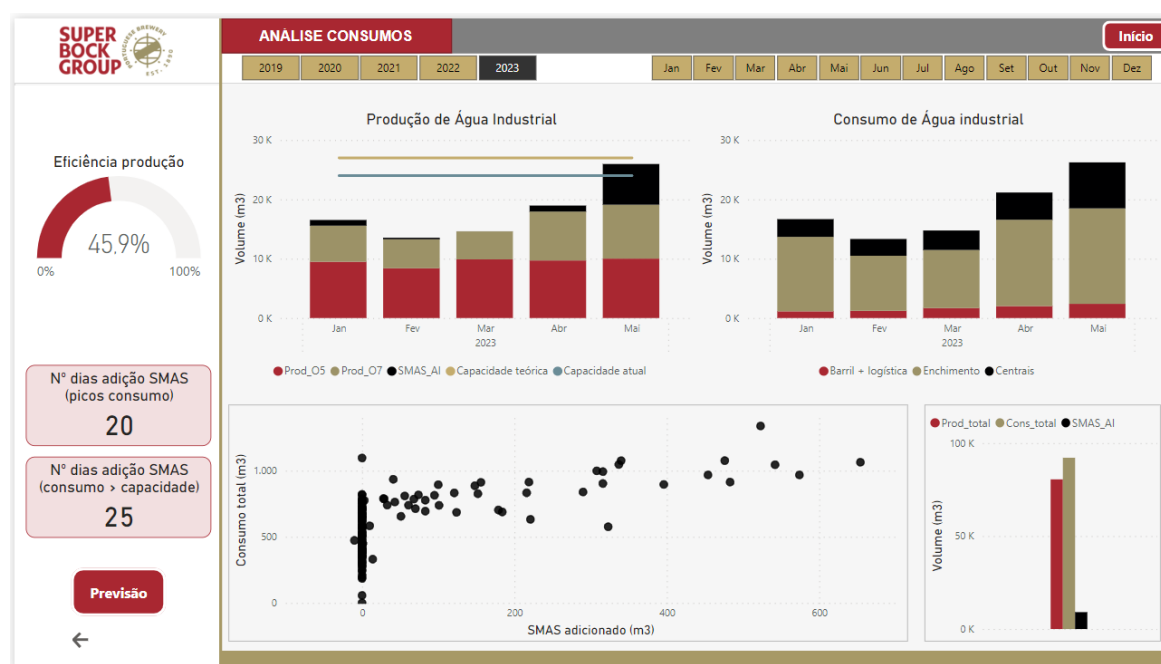


Figura C. 17 - Relatório mensal relativo à água industrial até maio de 2023.

De referir que, como se visualiza nas Figuras C.6 a C.17, os relatórios apresentam a possibilidade de apresentação dos resultados de forma anual e mensal, além de, em determinados casos, semanal.

C.2. Previsão de consumos

Os modelos de previsão de consumos tem por base equações que se ajustam aos dados históricos e, para obtê-las, recorreu-se à função de regressão incluída no *Analysis ToolPak* do *Excel*, determinando-se os coeficientes das equações.

Fabrico

O modelo de previsão de consumo da área do Fabrico é uma regressão linear simples que descreve a relação entre o volume de fabrico de mosto e o consumo de água nesta área (água do processo).

Na Tabela C.1 apresentam-se os resultados estatísticos da regressão linear relativos a este modelo, obtida a partir do *Excel*.

Tabela C. 1 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos na área do Fabrico.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9882
Quadrado de R	0,9766
Quadrado de R ajustado	0,9761
Erro-padrão	1064,84
Observações	48

Pela Tabela C.1 sabe-se que o R^2 deste modelo é igual a **0,9766** e, logo, o intervalo de confiança admitido para este modelo relativamente aos consumos de água reais é igual a 3%.

Na Tabela C.2 encontram-se os coeficientes obtidos para a equação de regressão linear, nomeadamente a sua ordenada na origem e o seu declive.

Tabela C. 2 - Coeficientes da equação de regressão linear para a área do Fabrico.

Parâmetros	Coeficientes
Intercetar	44,5352
Variável X 1	1,3479

Assim, conclui-se que o consumo de água previsto para a área do Fabrico é calculado pela Equação C.1, com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

$$\text{Consumo previsto (m}^3\text{)} = \text{Fabrico mosto (m}^3\text{)} \times 1,3479 + 44,5352 \quad (\text{C.1})$$

Na Figura C.18 apresenta-se o modelo de previsão para o Fabrico, determinado com os valores históricos mensais de 2019 a 2022 a partir da Equação C.1.

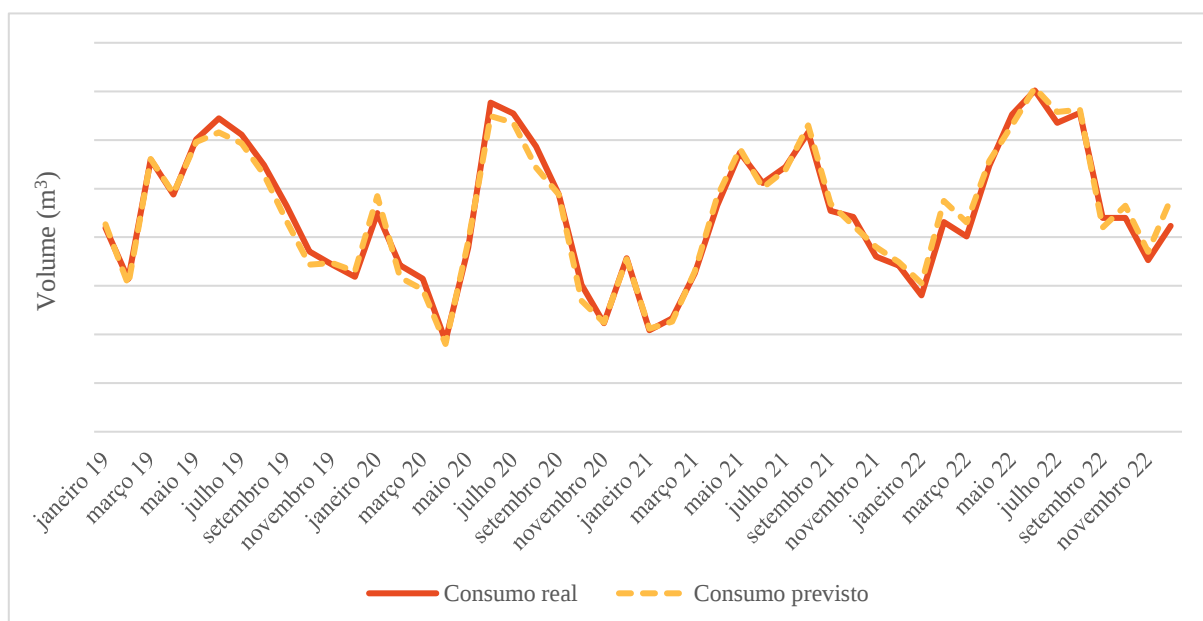


Figura C. 18 - Modelo de previsão do consumo de água na área do Fabrico.

Na Figura C.19 apresenta-se o relatório semanal, em *Power BI*, relativo ao consumo real e previsto, relativo à área do Fabrico, até à semana 22 de 2023.

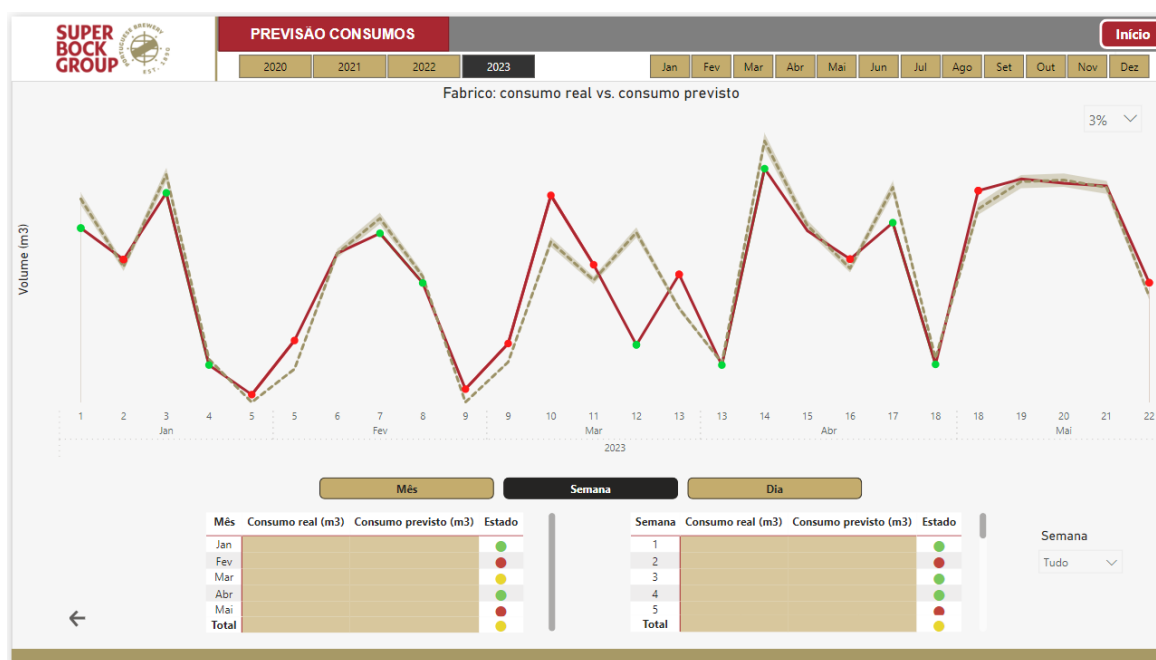


Figura C. 19 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto na área do Fabrico, até à semana 22 de 2023.

Adega

O modelo de previsão de consumo da área da Adega é uma regressão linear simples que descreve a relação entre o volume de cerveja filtrada e o consumo de água nesta área (água de diluição e água da rede geral).

Na Tabela C.3 apresentam-se os resultados estatísticos da regressão linear relativos a este modelo, obtida a partir do *Excel*.

Tabela C. 3 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos na área da Adega.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9873
Quadrado de R	0,9747
Quadrado de R ajustado	0,9741
Erro-padrão	1177,60
Observações	48

Pela Tabela C.3 sabe-se que o R^2 deste modelo é igual a **0,9747** e, logo, o intervalo de confiança admitido para este modelo relativamente aos consumos de água reais é igual a 3%.

Na Tabela C.4 encontram-se os coeficientes obtidos para a equação de regressão linear, nomeadamente a sua ordenada na origem e o seu declive.

Tabela C. 4 - Coeficientes da equação de regressão linear para a área da Adega.

Parâmetros	Coeficientes
Intercetar	5840,1901
Variável X 1	0,8058

Assim, conclui-se que o consumo de água previsto para a área do Fabrico é calculado pela Equação C.2, com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

$$\text{Consumo previsto (m}^3\text{)} = \text{Cerveja filtrada (m}^3\text{)} \times 0,8058 + 5840,1901 \quad (\text{C.2})$$

Na Figura C.20 apresenta-se o modelo de previsão para a Adega, determinado com os valores históricos mensais de 2019 a 2022 a partir da Equação C.2.

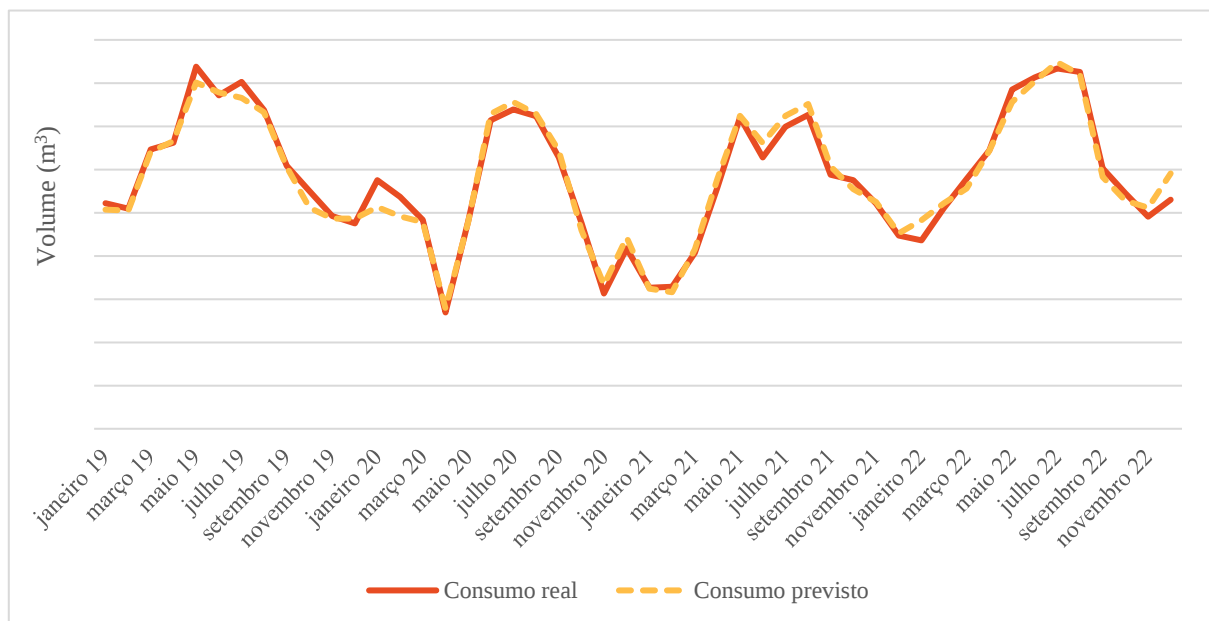


Figura C. 20 - Modelo de previsão do consumo de água na área da Adega.

Na Figura C.21 apresenta-se o relatório semanal, em *Power BI*, relativo ao consumo real e previsto, relativo à área da Adega, até à semana 22 de 2023.

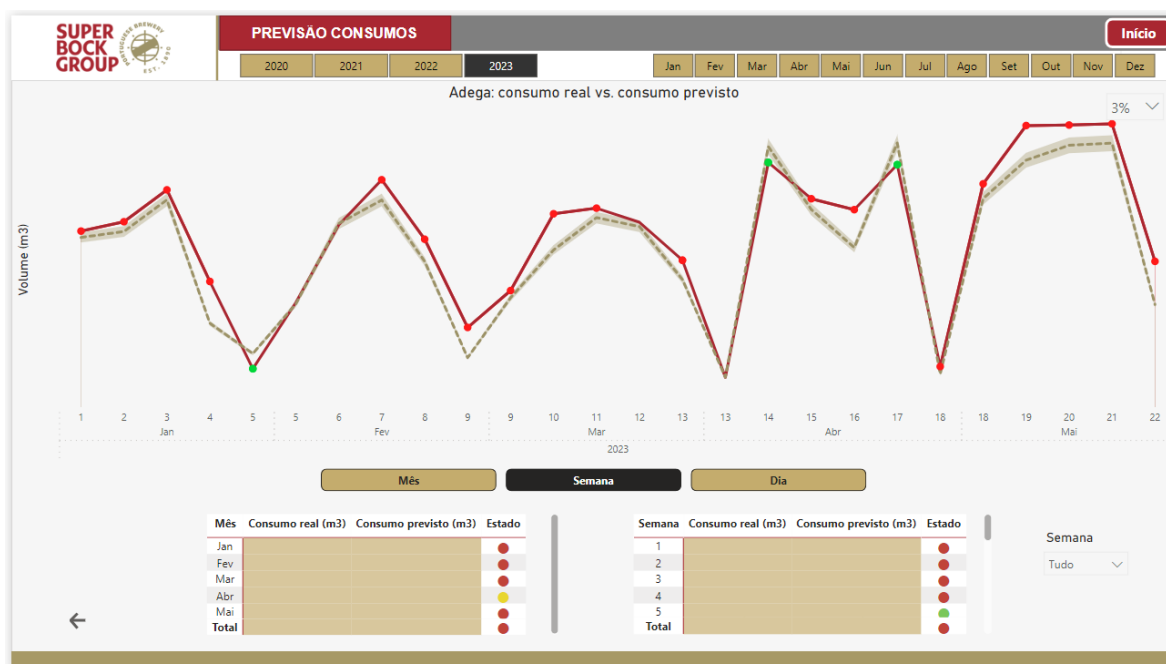


Figura C. 21 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto na área da Adega, até à semana 22 de 2023.

Enchimento

O modelo de previsão de consumo da área do Enchimento é uma regressão linear múltipla que descreve a relação entre o conjunto dos volumes de enchimento – linhas 1, 2, 3, 5, 6, barril, vini e mini fábrica – e o consumo de água nesta área (água da rede geral e água industrial).

Na Tabela C.5 apresentam-se os resultados estatísticos da regressão linear relativos a este modelo, obtida a partir do *Excel*.

Tabela C. 5 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos na área do Enchimento.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,8953
Quadrado de R	0,8016
Quadrado de R ajustado	0,7609
Erro-padrão	3624,85
Observações	48

Pela Tabela C.1 sabe-se que o R^2 deste modelo é igual a **0,8016** e, logo, o intervalo de confiança admitido para este modelo relativamente aos consumos de água reais é igual a 20%.

Na Tabela C.6 encontram-se os coeficientes obtidos para a equação de regressão linear múltipla.

Tabela C. 6 - Coeficientes da equação de regressão linear para a área do Enchimento.

Parâmetros	Coeficientes
Intercetar	8303,3978
Variável X 1	1,7571
Variável X 2	0,2131
Variável X 3	2,0968
Variável X 4	0,1571
Variável X 5	0,5018
Variável X 6	-0,1934
Variável X 7	5,7811
Variável X 8	-57,1991

Assim, conclui-se que o consumo de água previsto para a área do Enchimento é calculado pela Equação C.3, com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

$$\begin{aligned}
 \text{Consumo previsto (m}^3\text{)} &= \quad \quad \quad (C.3) \\
 &= \text{Linha 1 (m}^3\text{)} \times 1,7571 + \text{Linha 2 (m}^3\text{)} \times 0,2131 \\
 &+ \text{Linha 3 (m}^3\text{)} \times 2,0968 + \text{Linha 5 (m}^3\text{)} \times 0,1571 \\
 &+ \text{Linha 6 (m}^3\text{)} \times 0,5018 + \text{Barril (m}^3\text{)} \times (-0,1934) \\
 &+ \text{Linha Vini (m}^3\text{)} \times 5,7811 + \text{Mini fábrica (m}^3\text{)} \times (-57,1991) \\
 &+ 8303,3978
 \end{aligned}$$

Na Figura C.22 apresenta-se o modelo de previsão para o Enchimento, determinado com os valores históricos mensais de 2019 a 2022 a partir da Equação C.3.

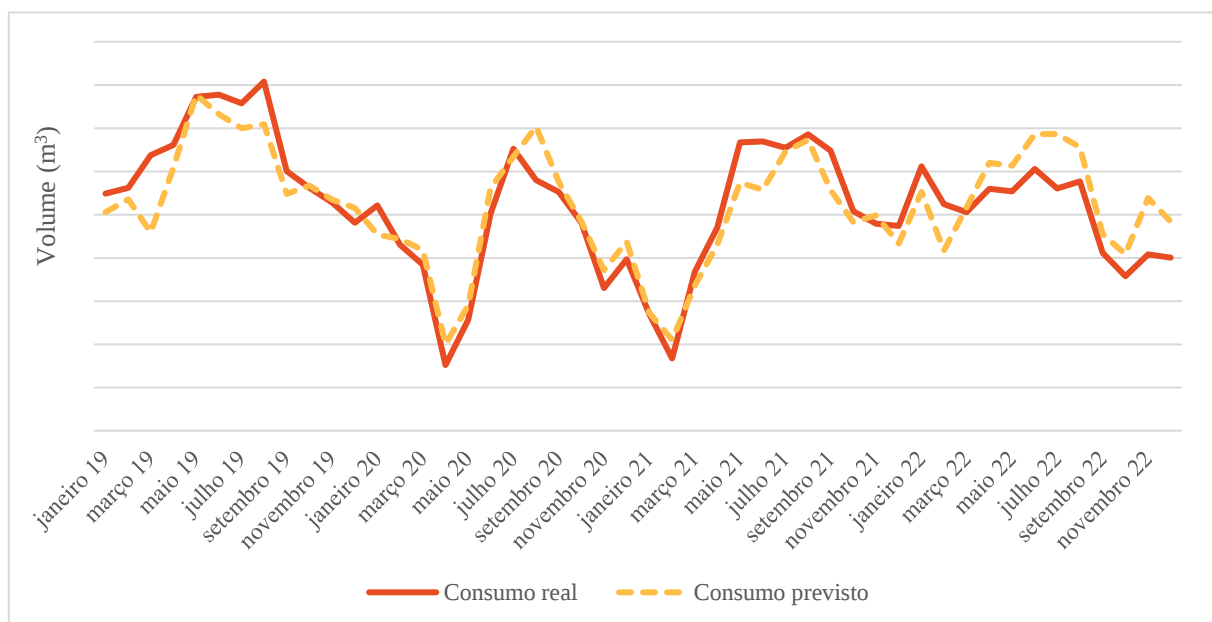


Figura C. 22 - Modelo de previsão do consumo de água na área do Enchimento.

Na Figura C.23 apresenta-se o relatório semanal, em *Power BI*, relativo ao consumo real e previsto, relativo à área do Enchimento, até à semana 22 de 2023.

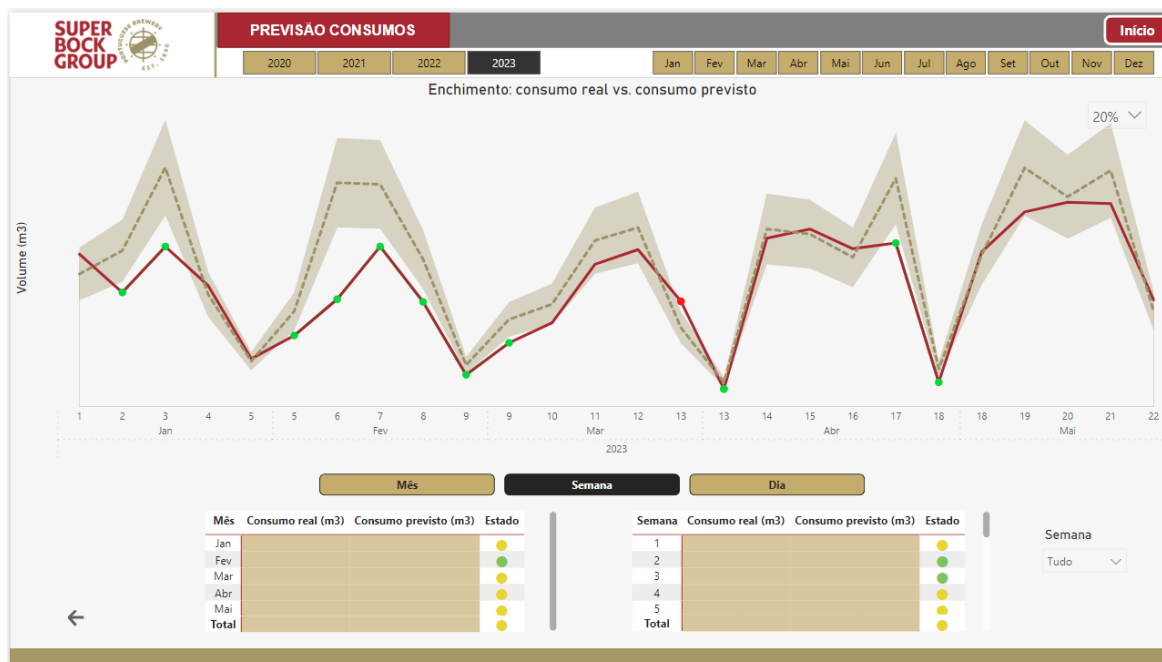


Figura C. 23 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto na área do Enchimento, até à semana 22 de 2023.

Global

De seguida, determinou-se o modelo de previsão do consumo global que resulta da combinação dos modelos de previsão acima descritos – Fabrico, Adega e Enchimento – e do somatório dos consumos médios mensais dos restantes consumidores – Centrais, Mini fábrica, Edifícios e Rega.

Na Tabela C.7 apresentam-se os coeficientes das equações de regressão linear já apresentados para as áreas do Fabrico, Adega e Enchimento. De referir que o coeficiente de interceção é a soma dos respetivos coeficientes do Fabrico (44,5352), Adega (5840,1901) e Enchimento (8303,3978) – Tabelas C.2, C.4 e C.6.

Tabela C. 7 - Coeficientes das equações de regressão linear para as áreas do Fabrico, Adega e Enchimento.

Parâmetros	Coeficientes
Intercetar	14188,1231
Fabrico mosto	1,3479
Cerveja filtrada	0,8058
Linha 1	1,7571
Linha 2	0,2131
Linha 3	2,0968
Linha 5	0,1571
Linha 6	0,5018
Barril (4 e 7)	-0,1934
Linha Vini	5,7811
Mini fábrica	-57,1991

Na Tabela C.8 apresentam-se o somatório mensal dos valores médios para as restantes áreas – Centrais, Mini fábrica, Edifícios e Rega – considerados na Tabela 4.3 do subcapítulo 5.6.

Tabela C. 8 - Somatório mensal dos valores médios para as áreas: Centrais, Mini fábrica, Edifícios e Rega.

Data	Somatório dos consumos médios (m ³)
janeiro	16516,97
fevereiro	16388,00
março	16551,50
abril	15093,25
maio	23524,75
junho	25819,50
julho	30015,00
agosto	25719,25
setembro	22340,75
outubro	16679,25
novembro	15182,50
dezembro	17049,25

Assim, conclui-se que o consumo de água previsto global é calculado pela Equação C.4, com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

$$\begin{aligned} \text{Consumo previsto global (m}^3\text{)} = & \quad (C.4) \\ & = \text{Fabrico mosto (m}^3\text{)} \times 1,3479 + \text{Cerveja filtrada (m}^3\text{)} \times 0,8058 \\ & + \text{Linha 1 (m}^3\text{)} \times 1,7571 + \text{Linha 2 (m}^3\text{)} \times 0,2131 \\ & + \text{Linha 3 (m}^3\text{)} \times 2,0968 + \text{Linha 5 (m}^3\text{)} \times 0,1571 \\ & + \text{Linha 6 (m}^3\text{)} \times 0,5018 + \text{Barril (m}^3\text{)} \times (-0,1934) \\ & + \text{Linha Vini (m}^3\text{)} \times 5,7811 + \text{Mini fábrica (m}^3\text{)} \times (-57,1991) \\ & + 14188,1231 + \text{Somatório consumos médios (mês)} \end{aligned}$$

SMAS

O modelo de previsão de consumo de água SMAS é uma regressão linear simples que descreve a relação entre a produção total e o volume de água SMAS que entra no sistema de tratamento (ETA).

Na Tabela C.9 apresentam-se os resultados estatísticos da regressão linear relativos a este modelo, obtida a partir do *Excel*.

Tabela C. 9 - Estatística de regressão linear relativa ao modelo de previsão de consumos de água SMAS.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9084
Quadrado de R	0,8253
Quadrado de R ajustado	0,8215
Erro-padrão	9012,06
Observações	48

Pela Tabela C.9 sabe-se que o **R²** deste modelo é igual a **0,9253** e, logo, o intervalo de confiança admitido para este modelo relativamente aos consumos de água reais é igual a 17%.

Na Tabela C.10 encontram-se os coeficientes obtidos para a equação de regressão linear, nomeadamente a sua ordenada na origem e o seu declive.

Tabela C. 10 - Coeficientes da equação de regressão linear para a água SMAS.

Parâmetros	Coeficientes
Intercetar	3786,7453
Variável X 1	2,2046

Assim, conclui-se que o consumo de água SMAS previsto é calculado pela Equação C.5, com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

$$\text{Consumo previsto (m}^3\text{)} = \text{Produção total (m}^3\text{)} \times 2,2046 + 3786,7453 \quad (\text{C.5})$$

Na Figura C.24 apresenta-se o modelo de previsão para a água SMAS, determinado com os valores históricos mensais de 2019 a 2022 a partir da Equação C.5.

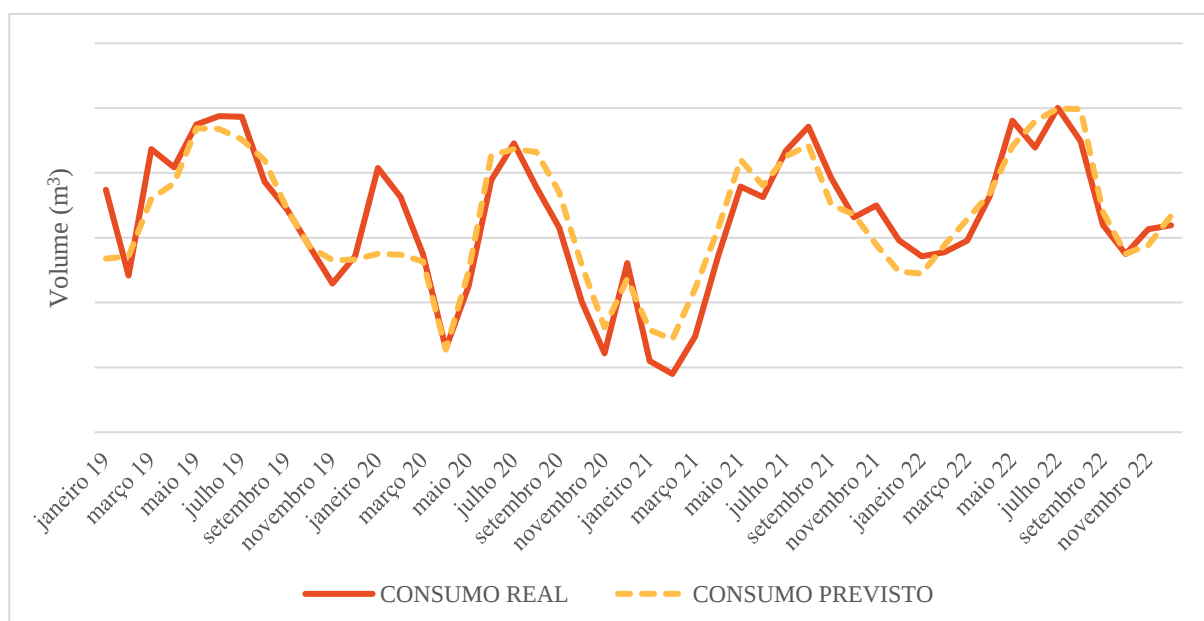


Figura C. 24 - Modelo de previsão do consumo de água SMAS.

Na Figura C.25 apresenta-se o relatório semanal, em *Power BI*, relativo ao consumo real e previsto da água SMAS, até à semana 22 de 2023.

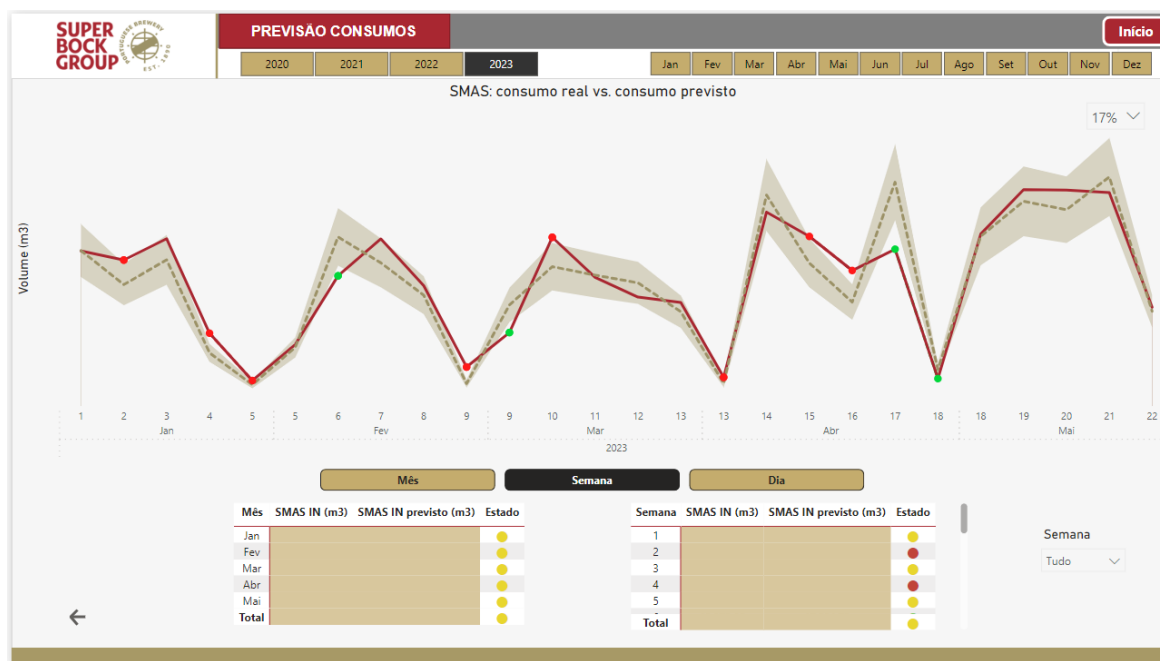


Figura C. 25 - Relatório semanal relativo ao consumo real e previsto de água SMAS, até à semana 22 de 2023.

Água industrial

Finalmente, o modelo de previsão de consumo de água industrial descreve a relação entre a produção total e o volume total de água industrial consumido.

Determinou-se um novo modelo de previsão global, de forma análoga ao explicado anteriormente, mas excluindo a água industrial (Enchimento e Centrais), sendo que o modelo de previsão do consumo de água industrial resultou na diferença entre o modelo global e o modelo global sem AI. Para isso, determinou-se previamente um novo modelo de previsão de consumo para a área do Enchimento excluindo o consumo de água industrial (não apresentado neste documento).

Na Tabela C.11 apresentam-se, para o modelo de previsão global sem AI, os coeficientes das equações de regressão linear para as áreas do Fabrico, Adega e Enchimento. O coeficiente de interceção é a soma dos respetivos coeficientes do Fabrico (44,5352), Adega (5840,1901) e Enchimento (5476,4856).

Tabela C. 11 - Coeficientes das equações de regressão linear para as áreas do Fabrico, Adega e Enchimento, relativas ao modelo de previsão global sem AI.

Parâmetros	Coeficientes
Intercetar	11361,2109
Fabrico mosto	1,3479
Cerveja filtrada	0,8058
Linha 1	1,1211
Linha 2	-0,3116
Linha 3	1,1145
Linha 5	0,01840
Linha 6	0,3426
Barril (4 e 7)	-0,1558
Linha Vini	3,2354
Mini fábrica	-69,6010

Na Tabela C.12 apresentam-se o somatório mensal dos valores médios para as restantes áreas – Centrais (excluído o consumo de AI), Mini fábrica, Edifícios e Rega.

Tabela C. 12 - Somatório mensal dos valores médios para as áreas: Centrais (sem AI), Mini fábrica, Edifícios e Rega.

Data	Somatório dos consumos médios (m ³)
janeiro	14204,22
fevereiro	13738,50
março	13389,25
abril	12635,75
maio	19341,25
junho	20300,75
julho	23435,25
agosto	19918,75
setembro	17750,00
outubro	13125,00
novembro	12418,00
dezembro	14281,50

O consumo previsto global, sem AI, é calculado pela Equação C.6, com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

$$\begin{aligned} \text{Consumo previsto global sem AI (m}^3\text{)} &= \quad (C.6) \\ &= \text{Fabricao mosto (m}^3\text{)} \times 1,3479 + \text{Cerveja filtrada (m}^3\text{)} \times 0,8058 \\ &+ \text{Linha 1 (m}^3\text{)} \times 1,1211 + \text{Linha 2 (m}^3\text{)} \times (-0,3116) \\ &+ \text{Linha 3 (m}^3\text{)} \times 1,1145 + \text{Linha 5 (m}^3\text{)} \times 0,01840 \\ &+ \text{Linha 6 (m}^3\text{)} \times 0,3426 + \text{Barril (m}^3\text{)} \times (-0,1558) \\ &+ \text{Linha Vini (m}^3\text{)} \times 3,2354 + \text{Mini fábrica (m}^3\text{)} \times (-69,6010) \\ &+ 11361,2109 + \text{Somatório consumos médios (mês)} \end{aligned}$$

O consumo previsto de água industrial, é calculado pela Equação C.7, com os valores históricos mensais de 2019 a 2022.

$$\begin{aligned} \text{Consumo previsto AI (m}^3\text{)} &= \quad (C.7) \\ &= \text{Consumo previsto global (eq C.4)} \\ &- \text{Consumo previsto global sem AI (eq C.6)} \end{aligned}$$

Importa, ainda, concluir que nos relatórios semanais, em *Power BI*, apresentados nas Figuras C.19, C.21, C.23 e C.25, se verificam a existência de alguns desvios significativamente maiores que os respetivos intervalos de confiança. Isto acontece porque, como já referido, as previsões semanais têm por base um modelo que foi construído com as variáveis mensais. Ou seja, aplicaram-se os modelos mensais criados à base de dados diários, importada e organizada no *Power BI*. Posteriormente esta ferramenta permite agregar os consumos reais e previstos semanalmente.

Anexo D – Propostas de melhoria

Este anexo dedica-se à apresentação e explicação complementar das propostas de melhoria sugeridas no capítulo 6 deste trabalho, para alguns dos problemas identificados.

D.1. Lavagens filtros OFSYs 1, 2 e 3

Tal como referido no subcapítulo 6.1, propõe-se neste trabalho a alteração do destino de parte das lavagens dos OFSYs 1, 2 e 3 para a cisterna 8A.

A proposta encontra-se esquematizada nas fotografias das Figuras D.1 e D.2 e consiste na união das tubagens de lavagem dos OFSYs e respetivo direcionamento da água, através de uma nova tubagem, para a área exterior da ETA. Ou seja, é pelo exterior que se faz atravessar a tubagem que permite encaminhar a água para a cisterna 8A, tal como se observa na Figura D.2. Ainda, é necessária a instalação de válvulas de controlo de caudal automáticas nas tubagens das lavagens, indicadas na Figura D.1, uma vez que o objetivo é direcionar apenas parte da água, tal como se explica na subcapítulo 6.1.

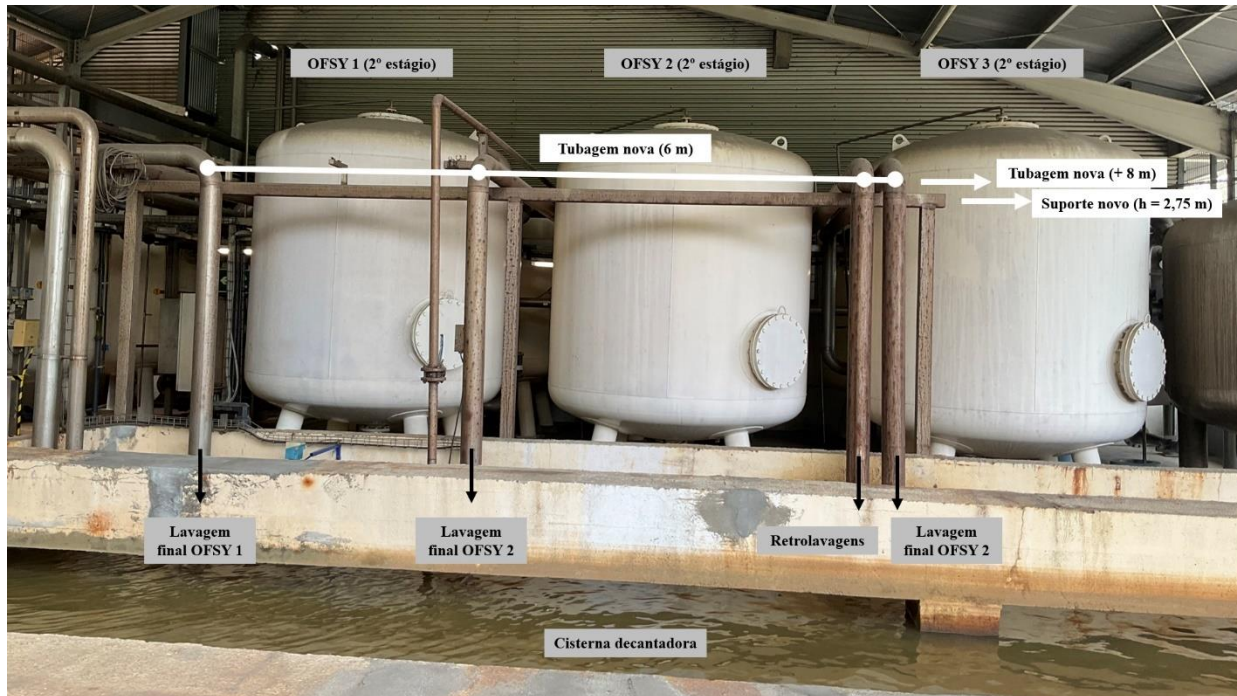


Figura D. 1 - Fotografia dos OFSYs 1, 2 e 3 e indicação esquemática das alterações para novo reaproveitamento das lavagens.

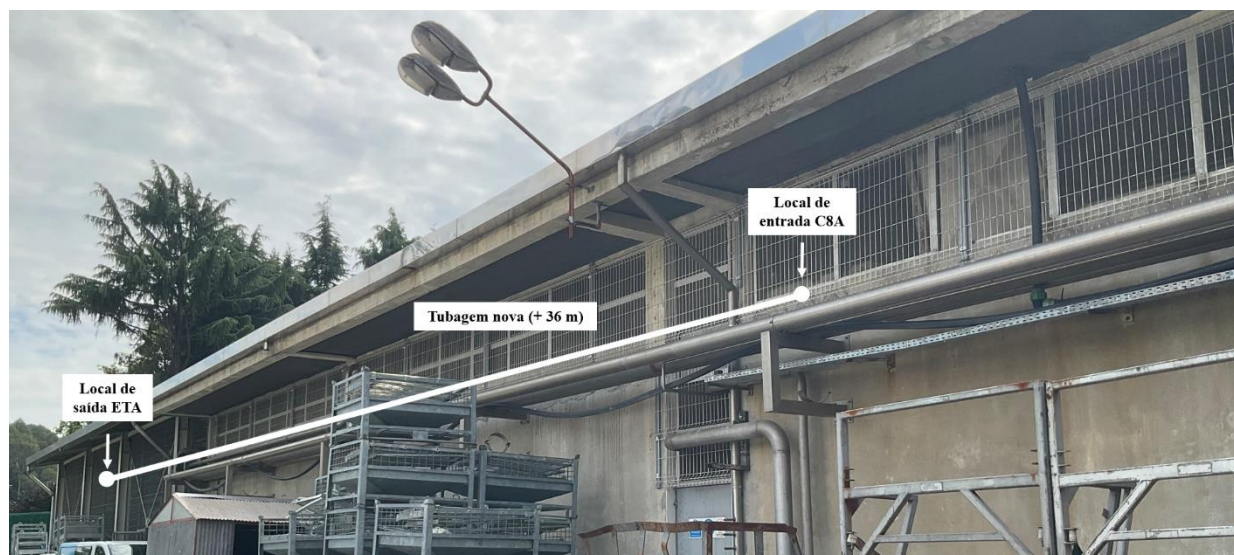


Figura D. 2 - Indicação esquemática da tubagem de reaproveitamento da água das lavagens dos OFSYs 1, 2 e 3 para a cisterna 8A (visão exterior da ETA).

Na Tabela D.1 apresentam-se os parâmetros e respetivos valores limite de admissão da água na cisterna 8A.

Tabela D. 1 - Parâmetros de referência para a água da cisterna 8A.

Parâmetro	Valores limite
pH	Entre 6,0 e 9,0
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 4500
Turvação (NTU)	< 15
Ferro (mg/L)	< 2
Dureza total ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	< 200
Alcalinidade total ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	< 1200
Cloretos (mg/L)	< 250

Em primeiro lugar, efetuou-se, no dia 12/04/2023, a recolha de água do início e do final de cada fase de lavagem do OFSY 2 (Figura D.3). Analisaram-se todas as amostras recolhidas e os respetivos resultados estão apresentados na Tabela D.2.

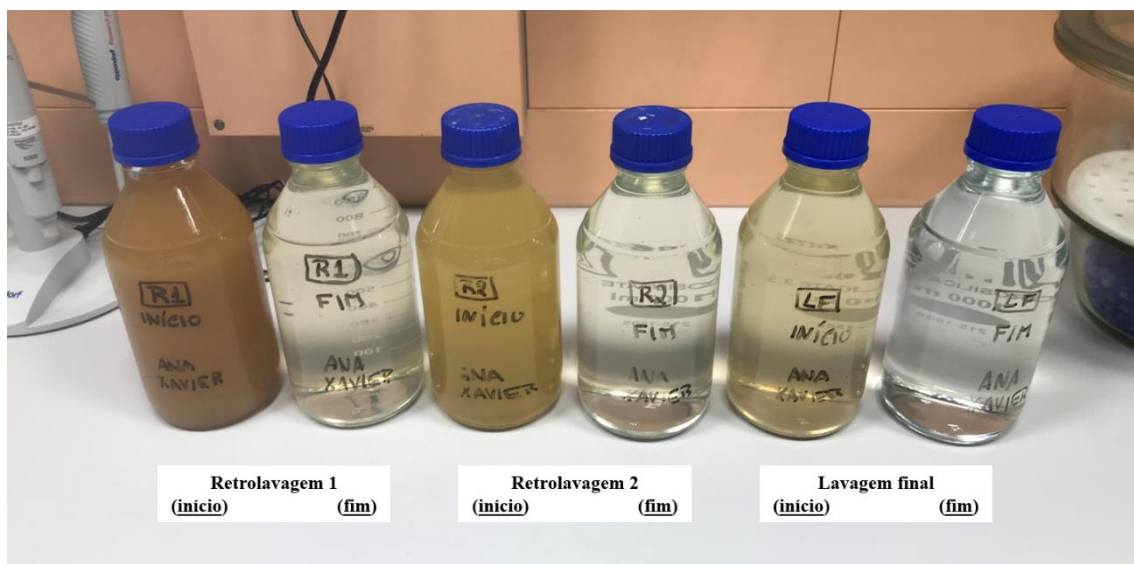


Figura D. 3 - Amostras da água das fases de lavagem (início e fim) ao OFSY 2, no dia 12/04/2023.

Tabela D. 2 - Parâmetros analisados às amostras da água das fases de lavagem (início e fim) ao OFSY 2, no dia 12/04/2023.

Fase lavagem	pH	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turvação (NTU)	Ferro (mg/L)	Dureza total (mg CaCO_3/L)	Alcalinidade total (mg CaCO_3/L)	Cloretos (mg/L)
Retrolavagem 1 (início)	6,90	434	173	75,1	111	76	50
Retrolavagem 1 (fim)	7,27	245	3,9	1,3	62	65	16
Retrolavagem 2 (início)	7,04	384	25,1	12,0	72	72	41
Retrolavagem 2 (fim)	7,31	244	2,2	0,9	61	61	16
Lavagem final (início)	7,32	245	6,3	2,1	64	64	17
Lavagem final (fim)	7,34	242	0,7	0,3	62	62	17

Comparando a Tabela D.1 com a Tabela D.2, concluiu-se que os parâmetros críticos a ter em atenção seriam a concentração de ferro e a turvação.

De seguida, efetuou-se, no dia 03/05/2023, a recolha de água da retrolavagem 2 e da lavagem final em intervalos de tempo de 1 minuto, do OFSY 2. As amostras recolhidas podem ser observadas na Figura D.4.

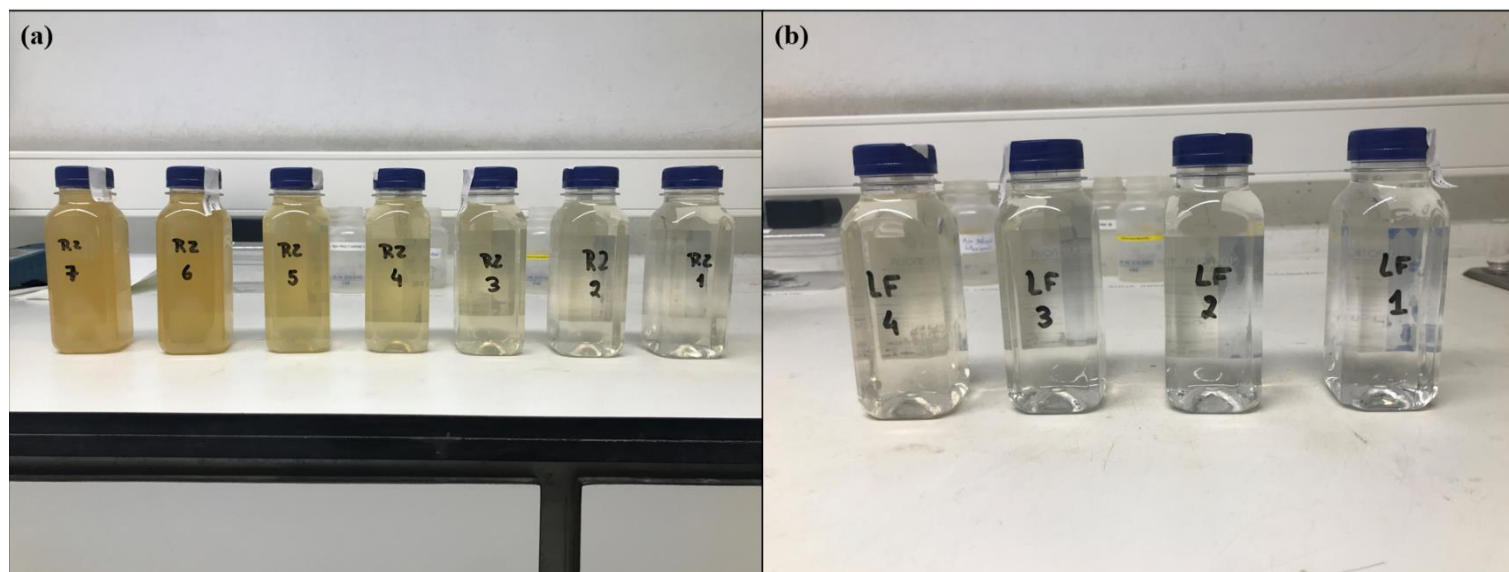


Figura D. 4 - Amostras recolhidas no dia 03/05/2023 da água da retrolavagem 2 (a) e da lavagem final (b) do OFSY 2.

Os resultados das análises efetuadas a estas amostras, em termos de concentração de ferro e turvação, estão apresentados na Tabela D.3.

Tabela D. 3 - Concentração de ferro, em mg/L, e turvação, em NTU, ao longo da retrolavagem 2 e da lavagem final do OFSY 2 (ensaio dia 03/05/2023).

Fase de lavagem	Q (m ³ /h)	Minuto lavagem	Turvação (NTU)	Ferro (mg/L)
Retrolavagem 2	179,9	1	165,0	22,4
		2	140,0	18,9
		3	79,1	9,50
		4	52,0	6,55
		5	29,0	3,07
		6	18,1	1,83
		7	13,1	1,31
Lavagem final	109,3	1	15,1	1,51
		2	7,25	0,73
		3	6,06	0,61
		4	4,46	0,49

Sugere-se, no subcapítulo 6.1, o reaproveitamento da lavagem dos OFSYs relativamente aos últimos 2 minutos da retrolavagem 2 e à totalidade da lavagem final, o que resulta num volume de água de 13,3 m³, em cada lavagem (Equação D.1).

$$V_{\text{reaproveitado C8A (cada OFSY)}} = \frac{179,9 \times 2}{60} + \frac{109,3 \times 2}{60} = 13,3 \text{ m}^3 \quad (\text{D.1})$$

Determinou-se o potencial de reaproveitamento mensal com esta alteração tendo em conta as estimativas das lavagens dos OFSYs (Anexo B.1), tal como se apresenta na Tabela D.4.

Tabela D. 4 - Estimativa do volume mensal de água reaproveitado.

Equipamento	Número estimado mensal de lavagens (Anexo B.1)	V (m³)
OFSY 1	6,8	90,4
OFSY 2	6,6	87,3
OFSY 3	7,7	101,8
TOTAL		280

Solicitou-se uma proposta a uma empresa prestadora de serviços ao SBG para a realização da obra sugerida, cujo resumo do orçamento se encontra na Tabela D.5.

Tabela D. 5 - Resumo do orçamento da proposta para a obra de alteração do reaproveitamento das lavagens dos OFSYs para a Cisterna 8A.

Designação	Preço total (€)
Material (valor global)	25 637,69
Mão de obra	5 760,00
Equipamentos e consumíveis	560,00
TOTAL	31 957,69

De referir que o elevado valor da proposta se deve essencialmente à necessidade de instalar uma bomba centrífuga, além da grande quantidade de materiais necessários.

D.2. Rejeitados Osmose 2

Tal como referido no subcapítulo 6.2, propõe-se neste trabalho a alteração da tubagem dos rejeitados da OI 2 que, de momento, são direcionados para a cisterna 8A.

Todas as osmoses aqui em questão (1, 2, 3.1, 3.2, 4 e 6) são alimentadas pela mesma água e, tendo em conta que apresentam taxas de recuperação de permeado e taxas de rejeição de sais semelhantes entre si, tal como se apresenta na Tabela D.6, sabe-se que o rejeitado da OI 2 apresenta as mesmas características que os rejeitados das restantes, pelo que está apto a alimentar de igual modo a cisterna 2.

Tabela D. 6 - Características do permeado e do rejeitado das osmoses, baseadas em valores reais médios para 2022.

Equipamento	Q permeado (m³/h)	Q rejeitado (m³/h)	Taxa recuperação permeado (%)	Taxa rejeição de sais (%)
Osmose 1	13,9	5,5	71,6	99,0
Osmose 3.1	13,6	5,4	71,6	98,6
Osmose 3.2	14,3	5,5	72,0	98,6
Osmose 4	14,5	6,0	70,7	99,1
Osmose 6	24	8,6	73,6	97,9
Osmose 2	15,6	5,8	72,7	98,9

De referir que a taxa de recuperação de permeado trata-se da eficiência da osmose e é definida como a razão, em percentagem, entre o caudal de permeado e o caudal de alimentação. Ainda, a taxa de rejeição de sais é definida como a razão, em percentagem, entre a diferença dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) da alimentação e do permeado e os SDT da alimentação.

Posto isto, a Figura D.5 mostra a referida tubagem, bem como se ilustra a alteração pretendida e que implica a elevação da saída dos rejeitados de modo a acompanhar as tubagens dos rejeitados das restantes osmoses.



Figura D. 5 - Fotografia da tubagem de rejeitados da OI 2 e respetiva ilustração da alteração sugerida.

De seguida, nas Figuras D.6 e D.7, apresenta-se a disposição das tubagens dos rejeitados das restantes osmose e o seu direcionamento para a cisterna 2.



Figura D. 7 - Fotografia da disposição das tubagens dos rejeitados das OI 1, 3.1, 3.2, 4 e 6.



Figura D. 6 - Fotografia do direcionamento dos rejeitados para a cisterna 2.

Assim, a proposta em questão tem de incluir, de um modo geral, uma nova tubagem e a extensão dos suportes apresentados nas Figuras D.6 e D.7. A proposta foi realizada por uma empresa externa que presta serviços ao SBG e encontra-se detalhada na Tabela D.7.

Tabela D. 7 - Detalhes da proposta para a obra de alteração da tubagem dos rejeitados da OI 2.

Designação	Quantidade	Preço unitário (€)	Preço total (€)
MACHO SOLDAR DIN 11851 AISI 316 L - NW 050	2	7,116	14,23
CASQUILHO SOLDAR DIN 11851 AISI 316 L - NW 050 (Ø 52)	1	5,796	5,80
PORCA RACORD DIN 11851 AISI 304 - NW 050	1	6,804	6,80
JUNTA RACORD DIN 11851 EPDM - NW 050 * preta	1	0,672	0,67
TUBO INOX AISI 316 L - Ø 053.0 X 1.5 DIN11850/EN 10357	18	13,272	238,90
CURVA 90° INOX AISI 316 L - 053.0 X 1.5 R75	10	5,724	57,24
ABRAÇADEIRA P/ TUBAGEM ALIMENTAR INOX - Ø 50/52	4	3,192	12,77
SUORTES VÁRIOS	1	60,000	60,00
MÃO DE OBRA	1	1 080,000	1 080,00
EQUIPAMENTOS E CONSUMÍVEIS	1	105,000	105,00
TOTAL			1 581,41

Determinou-se também o potencial de poupança com a alteração proposta tendo em conta os dados históricos de funcionamento da OI 2 ao longo de um mês, entre 08/02 e 08/03. Estes dados, obtidos no WinCC, contemplam os caudais de permeado da OI 2, em m³/h, para cada minuto ao longo do intervalo de tempo referido. Dada a extensão dos dados de minuto a minuto, apresentam-se no gráfico da Figura D.8 os caudais médios diários, em m³/h, contabilizados durante o funcionamento da osmose ao longo do mês referido.

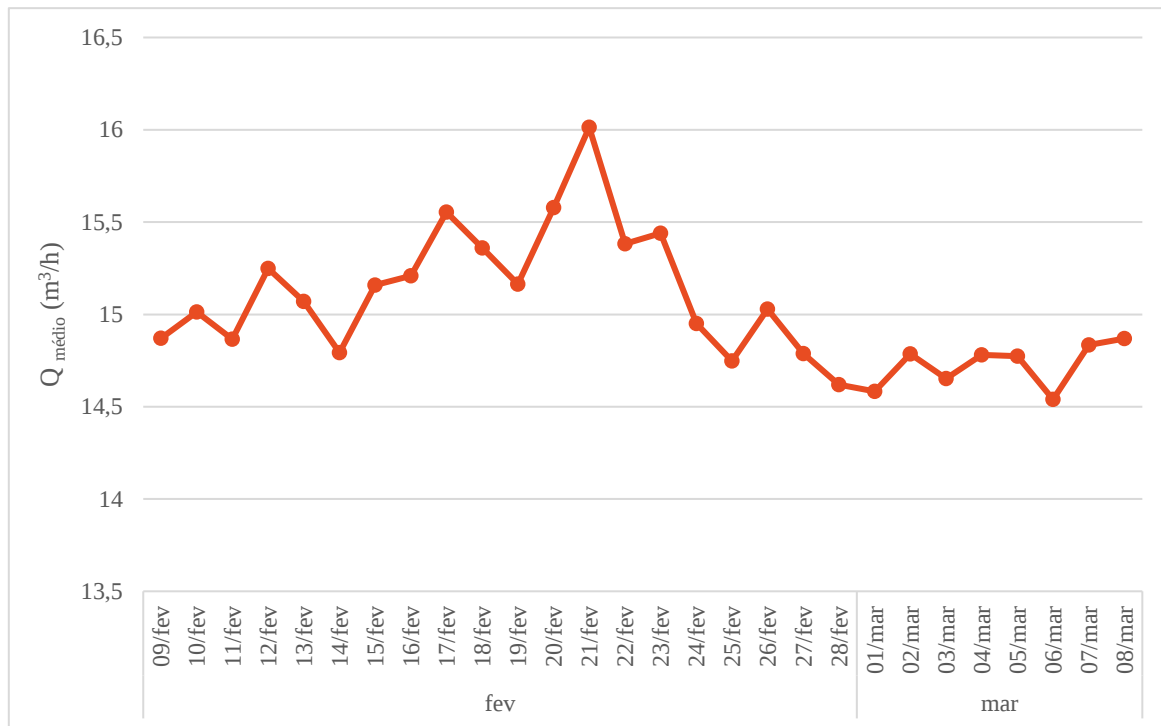


Figura D. 8 - Caudal médio diário, em m³/h, do permeado produzido pela osmose inversa 2 ao longo de um mês (08/02 a 08/03).

De seguida, com os dados adquiridos, determinaram-se os respetivos caudais de rejeitados a partir da taxa de recuperação de permeado média da OI 2 (Tabela D.6) através das Equações D.2 a D.4.

$$\text{Taxa recuperação permeado (\%)} = \frac{Q_{\text{permeado}}}{Q_{\text{alimentação}}} \times 100 \Leftrightarrow \quad (\text{D.2})$$

$$\Leftrightarrow \text{Taxa recuperação permeado (\%)} = \frac{Q_{\text{permeado}}}{Q_{\text{permeado}} + Q_{\text{rejeitado}}} \times 100 \quad (\text{D.3})$$

$$\Leftrightarrow Q_{\text{rejeitado}} = \frac{Q_{\text{permeado}}(1 - \text{Taxa recuperação permeado (\%)/100})}{\text{Taxa recuperação permeado (\%)/100}} \quad (\text{D.4})$$

Ora, de modo a calcular o volume total mensal dos rejeitados, determinou-se primeiramente o volume para cada minuto, tal como enunciado pela Equação D.5.

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \frac{Q_{\text{rejeitado}} \text{ (m}^3\text{/h)}}{60 \text{ (min)}} \quad (\text{D.5})$$

Após o cálculo do volume de rejeitado para cada minuto, somaram-se todos estes valores para o intervalo de tempo em estudo. Com isto, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela D.8.

Tabela D. 8 - Volume de rejeitado entre 08/02 e 08/03 e respetiva estimativa do volume anual, assim como estimativas da potencial poupança com a proposta apresentada.

Parâmetro	Volume (m ³)	Poupança estimada (€)
Rejeitado mensal (08/02 a 08/03)	489,5	881,03
Rejeitado anual estimado	5873,5	10 572,38

De referir que a estimativa do volume de rejeitado anual foi efetuada com base na extrapolação do volume de rejeitado do mês em análise, sendo que, este valor poderá, obviamente, ser superior tendo em conta os meses de maior necessidade de produção de vapor (destino final da água desmineralizada). A poupança estimada tem por base o custo médio por metro cúbico de água adquirida aos SMAS, aproximadamente 1,8 €/m³.

Por fim, determinou-se ainda o impacto positivo a verificar no KPI, tendo por base este valor anual para 2022. Assim, calculou-se a diferença entre o volume total anual que entrou no sistema e aquele que entraria se se descontasse o valor estimado para o rejeitado anual. Para calcular o KPI dividiu-se, em ambas as situações, o volume total anual de produção da empresa, obtendo-se então dois valores que, quando subtraídos, resultam no potencial de poupança da medida apresentada, expressa em termos de KPI, tal como se apresenta na Tabela D.9.

Tabela D. 9 - Impacto da medida proposta no KPI, tendo por base os valores anuais de 2022.

Parâmetro (2022)	Atual (2022)	Pós medida	Potencial
KPI	3,043	3,028	0,02

D.3. Captações

De acordo com a proposta apresentada no subcapítulo 6.3, apresentam-se neste anexo os detalhes do ensaio realizado para contabilização das captações da fábrica. Posto isto, o ensaio ocorreu no dia 19/04/2023 entre as 08h43 e as 15h30, de tal modo que teve a duração de 6h47.

Pretendeu-se garantir que não ocorria consumo de água após as cisternas 11 e 12, de modo a contabilizar a quantidade de água que entra efetivamente em stock e compará-la com aquela que se considera que é captada, de acordo com os caudalímetros instalados no local das captações.

Assim, seguem os detalhes das ações efetuadas no WinCC para a operação:

- Bombas de alimentação da água das cisternas 11 e 12 para a cisterna 1 (M41 e M43) desativadas;
- Válvulas de alimentação da água proveniente dos FC UR120 às cisternas 4 e 5 (V412 e V422) desativadas;
- Bomba de aspiração da água da cisterna decantadora (M58) desativada para evitar que ocorra a decantação para a cisterna 12 durante o ensaio.

Na Tabela D.10 apresenta-se o registo das contagens dos furos, em m^3 , que estavam a captar água no dia do ensaio, bem como o resultado do total captado, em m^3 .

Tabela D. 10 - Registo das contagens, em m^3 , dos furos a captar aquando da realização do ensaio.

Furos a captar	Contagem início (m^3)	Contagem fim (m^3)	Total captado (m^3)
AC02	46062	46087	25
AC27	331384	331451	67
AC26	88952	88980	28
AC32	156322	156330	8
TOTAL			128

Na Tabela D.11 encontra-se o registo das contagens dos níveis das cisternas 11 e 12, em m^3 , no início e no fim do ensaio, bem como o resultado das respetivas variações de nível, em m^3 .

Tabela D. 11 - Registo das contagens, em m^3 , dos níveis das cisternas 11 e 12 durante a realização do ensaio.

Cisterna	Nível início (m^3)	Nível fim (m^3)	Variação nível (m^3)
11	1008	1062	54
12	1315	1373	58
TOTAL			112

Tal como referido, para que o ensaio fosse bem sucedido, pretendeu-se garantir que não ocorria consumo de água após as cisternas 11 e 12, pelo que, além das alterações já

enumeradas, se descontou ainda o volume de água que a cisterna 12 alimenta à R.I.A. (Rede de Incêndio Armada). Apresentam-se na Tabela D.12 as informações relativas à bombagem de água da R.I.A.

Tabela D. 12 - Informações relativas à bombagem de água da R.I.A.

Parâmetro	Valor	Unidades
Q bomba	30	m ³ /h
t bombagem	1	min
V bombagem	0,5	m ³

Foi necessário ter em conta o controlo de pressão da R.I.A que ocorre entre 8 e 12 bar. Isto é, quando a rede atinge 8 bar ocorre a alimentação da água proveniente da cisterna 12 até que se atinga 12 bar, o que resulta num tempo de bombagem que dura aproximadamente 1 minuto e, tendo em conta o caudal debitado pela bomba, num volume de cerca de 0,5 m³ de água. Verificou-se durante o ensaio, com duração de 6h47, ocorreram 4 bombagens de água, o que significa que foram alimentados à R.I.A. 2 m³.

Posto isto, calculou-se a discrepância entre o volume de água contabilizada como captada e aquela que efetivamente entrou em stock (Tabela 6.3, subcapítulo 6.3), tal como descrito pelas Equações D.6 e D.7.

$$\text{Discrepância} = \text{total captado} - \text{variação nível C11/12} - \text{volume R.I.A.} \quad (\text{D.6})$$

$$\text{Discrepância} = 128 - 112 - 2 = 14 \text{ m}^3 \quad (\text{D.7})$$

Na Tabela D.13, apresentam-se as informações relativas aos caudalímetros sugeridos para serem instalados após os coletores das captações.

Tabela D. 13 - Informações dos caudalímetros a instalar.

Caudalímetro	Marca	Modelo	Custo (€)
F1	Endress + Hauser	Promag W 400, 5W4C80, DN80 3''	731,26
F2		Promag W 400, 5W4C1F, DN150 6''	1 000,18

Adicionalmente, para a instalação dos caudalímetros, estima-se um custo para a automação (+ 25% do custo de cada equipamento) e para os trabalhos mecânicos (+ 25% do custo de cada equipamento) de cerca de 365,63 € para F1 e 500,09 € pra F2, pelo que a estimativa final para esta proposta é de cerca de 2 597,16 €.