



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
Ano 2013

**Rui Nogueira de
Lemos Figueiredo**

Reaproveitamento de efluentes industriais



**Rui Nogueira de
Lemos Figueiredo**

Reaproveitamento de efluentes industriais

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e coorientação da Engenheira Paula Pascoal, Técnica Ambiente na Renault C.A.C.I.A., S.A.

o júri

presidente

Professora Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela
professora associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Armando Baptista da Silva Afonso
professor associado convidado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja
professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao Professor Doutor Luís Arroja pela ótima orientação em todas as fases desta última etapa académica, por toda a disponibilidade que sempre demonstrou e pelo permanente incentivo, motivação e apoio nas partes menos felizes deste trabalho.

Um agradecimento especial à Eng.^a Paula Pascoal, responsável ambiental da Renault C.A.C.I.A., pela magnífica coorientação durante todo o estágio, por toda a disponibilidade demonstrada pondo sempre à disposição todos os recursos necessários para a resolução dos problemas encontrados, pelo meu envolvimento pessoal em tudo o que se relacionava com o tema água, pela enorme simpatia e boa disposição que dela fazem parte.

À Renault C.A.C.I.A. por ter tornado possível a existência deste trabalho, expandindo também desta forma a minha experiência no mundo real laboral.

Aos funcionários da Renault C.A.C.I.A. que conheci, mais concretamente da “Central de Fluidos”, com quem tive o prazer de conviver durante nove meses e que sempre me ajudaram e apoiaram na solução dos mais variados problemas ao longo do estágio.

Um agradecimento a toda a minha família, em especial à minha mãe e à minha irmã pelo apoio, motivação e paciência ao longo destes anos.

Agradecer à Cátia e à Sandra pelas formatações finais dos textos contidos neste relatório.

palavras-chave

Efluentes, Industria, Reaproveitamento, Água, Rega, Torres de Refrigeração

resumo

A adoção de boas práticas e medidas mais eficientes na utilização do recurso água por parte da indústria, segundo maior consumidor mundial de água, revela-se cada vez mais importante nos dias de hoje, pois para além de apresentarem vantagens ambientais e económicas, associadas ao seu uso, são uma mais-valia na imagem destas empresas.

A multinacional RENAULT, consciente dos seus impactos no meio ambiente e baseando a sua atividade numa política de desenvolvimento sustentável, tem adotado uma série de ações de proteção ambiental, sendo a água umas das principais preocupações. A C.A.C.I.A., inserida no grupo, subscreve todos os princípios estabelecidos, tendo sido delineadas metas concretas para a redução dos consumos anuais de água na fábrica.

Foi neste âmbito que surgiu a possibilidade de desenvolver este estudo na C.A.C.I.A., de forma a identificar oportunidades de reaproveitamento de efluentes nesta unidade. Este trabalho engloba uma caracterização quantitativa e qualitativa dos diferentes pontos de oferta e de procura, tendo sido testadas as opções encontradas, bem como identificados tratamentos complementares e modos de operação para tornar possível estas reutilizações. Por último, é apresentada uma análise técnico-económica de cada uma das opções encontradas.

Os resultados obtidos sugerem como potenciais pontos de interesse a reutilização do rejeitado da osmose inversa como complemento ao atesto das torres de refrigeração e a recuperação do efluente da ETAR para rega dos espaços verdes. As medidas propostas de reaproveitamento podem contribuir para 71% do objetivo de redução dos consumos de água definido até 2016.

keywords

Wastewater, Industry, Reuse, Water, Irrigation, Cooling Towers

abstract

The adoption of good practices and more efficient measures in the utilization of water as an industry resource, the second biggest consumer of water, reveals itself increasingly important these days, because of the advantages to the environment and the image of the companies.

The multinational RENAULT, aware of their impact on the environment and current sustainable development policy, applied several actions for environmental protection, having water as a major concern. The company C.A.C.I.A., from the RENAULT group, endorses the same environmental principles, by outlining concrete goals to reduce annual water consumption in the factory.

It was in this context that it became possible to develop this study in CACIA, in order to identify opportunities for the reuse of effluents in this unit. This work covers the quantitative and qualitative characterization of the supply and demand tasks. Different options were tested and complementary treatments and methods of possible water reuse were identified. Finally, a technical and economic analysis of each of the options proposed is presented.

The results point out different potential environmental measures: the reuse of reverse osmosis rejected water as a makeup complement of the cooling towers and the recovery of the wastewater from wastewater treatment plant for irrigation of green areas. The measures of water reuse proposed, can contribute to 71% reduction in water consumption, from the goal set to 2016.

Índice

Índice de Figuras	iii
Índice de Quadros	v
Lista de Acrónimos	vii
Parte I – Apresentação do estágio e da entidade de acolhimento	1
1 Introdução	1
1.1 Importância do tema.....	1
1.2 Objetivos do Estágio	4
2 Renault C.A.C.I.A., S.A.	5
2.1 Apresentação geral da empresa.....	5
2.2 Preocupação ambiental da RENAULT C.A.C.I.A.....	7
2.3 Abastecimento, tratamento, armazenamento, distribuição e utilizações da água	9
2.3.1 Abastecimento/Captação.....	9
2.3.2 Tratamento de água bruta	10
2.3.3 Armazenamento de água.....	10
2.3.4 Distribuição e utilizações da água.....	11
2.4 Rejeição de águas residuais e pluviais.....	18
2.4.1 Origem efluentes líquidos rejeitados	18
2.4.2 Rede de coletores de esgotos industriais, esgotos domésticos e esgotos pluviais.....	20
3 Descrição de atividades realizadas na RENAULT C.A.C.I.A.	25
Parte II – Desenvolvimento dos objetivos do estágio	27
4 Redução dos consumos de água	27
4.1 Introdução	27
4.1.1 Compilação dos dados	30
4.1.2 Otimização do uso da água	35
4.1.3 Reaproveitamento dos efluentes	36
4.2 Reutilização do rejeitado da osmose inversa no atesto das torres de refrigeração	40

4.2.1	Rejeitado da Osmose Inversa (oferta):	40
4.2.2	Atesto ou “Make up” nas Torres de Refrigeração (procura):	42
4.2.3	Metodologia utilizada	45
4.2.4	Resultados e discussão	47
4.2.5	Conclusões e recomendações.....	56
4.3	Aproveitamento do efluente da ETAR para rega de espaços verdes.....	57
4.3.1	Efluente da ETAR (oferta).....	57
4.3.2	Rega dos espaços verdes (procura)	58
4.3.3	Metodologia utilizada	65
4.3.4	Resultados e discussão	66
4.3.5	Intervenções de compatibilização na ETAR.....	76
4.3.6	Intervenções infraestruturais no armazenamento e distribuição da água para rega	79
4.3.7	Conclusões e recomendações.....	81
5	Otimização do funcionamento da ETAR.....	85
5.1	Análise das eficiências da ETAR.....	85
5.2	Tanque de lamas ativadas, ciclos de operação no arejador e O.D.	86
5.2.1	Metodologia utilizada	87
5.2.2	Resultados e discussão	88
5.2.3	Conclusões.....	92
6	Avaliação económico financeira das propostas de reutilização de efluentes	95
6.1	Aproveitamento do ROI para atesto das torres de refrigeração	95
6.2	Aproveitamento do efluente da ETAR para rega paisagística.....	96
7	Conclusões finais	99
8	Referências bibliográficas	101
	Anexo I – Figuras e Quadros Informativos.....	103

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Fotografia aérea da C.A.C.I.A. (C.A.C.I.A., 2011).	5
Figura 2.2 – Captação de água do furo 1.	9
Figura 2.3 – Desferrização e autómato de controlo de produção de água fresca.	10
Figura 2.4 – Principais processos e atividades usuárias de água.	11
Figura 2.5 – Planta geral das redes de água: potável, industrial, incêndios e de refrigeração (Renault C.A.C.I.A.)	13
Figura 2.6 – Desmineralização com descalcificador e osmose inversa.	15
Figura 2.7 – Torres de Refrigeração. Fonte: (C.A.C.I.A., 2008).	16
Figura 2.8 – Sistema de filtração por depressão (C.A.C.I.A., 2012a).	19
Figura 2.9 – Planta geral da rede de coletores de esgotos: industriais, domésticos e pluviais (Renault C.A.C.I.A.)	23
Figura 2.10 – Diagrama de funcionamento da ETAR da C.AC.I.A.	21
Figura 4.1 – Comparativo anual da água captada dos furos e água da rede pública.	27
Figura 4.2 – Diagrama para desenvolvimento de um plano de conservação e reaproveitamento de água, adaptado de (Hespanhol, 2007).	29
Figura 4.3 – Comparativo anual dos consumos gerais da água na fábrica.	30
Figura 4.4 – Dispersão dos consumos mensais	31
Figura 4.5 – Variação anual dos consumos gerais da água na fábrica.	32
Figura 4.6 – Balanço hídrico na unidade fabril em 2011.	33
Figura 4.7 – Alternativas de reutilização da água na indústria: a) sem reutilização e sem reciclagem; b) com reutilização; c) com tratamento prévio á reutilização; d) com tratamento prévio á reciclagem; adaptada de (T. Asano, Burton, Tsuchihashi, & Tchobanoglous, 2007).	37
Figura 4.8 – Esquema do processo de Osmose Inversa na fábrica.	41
Figura 4.9 – Funcionamento de um sistema em circuito semi-aberto, com recirculação de água (adaptada de (Mancuso, 2001))	43
Figura 4.10 – Funcionamento do novo sistema de <i>makeup</i> ao circuito de refrigeração com reutilização do rejeitado da osmose inversa.	46
Figura 4.11 – Esquema completo sobre o funcionamento da ETAR. (RENAULT C.A.C.I.A.)	57
Figura 4.12 – Planta geral da rede de rega, zonas relvadas e plantas existentes. (RENAULT C.A.C.I.A.)	61

Figura 4.13 – Variação sazonal no caudal do efluente da ETAR .	67
Figura 4.14 – Relação da precipitação/ afluente industrial 2009.	67
Figura 4.15 – Relação da precipitação/afluente industrial 2010.	68
Figura 4.16 – Relação da precipitação/afluente industrial 2011.	68
Figura 4.17 – Variação sazonal do CQO do efluente da ETAR entre 2009 e 2011.	70
Figura 4.18 – Início rega (04/04/12), parcela 1 e 2 (esquerda para direita)	74
Figura 4.19 – Início rega (04/04/12), parcela 3 e 4 (esquerda para direita)	74
Figura 4.20 – Fim da rega (26/07/12), parcela 1 e 2 (esquerda para direita).	75
Figura 4.21 – Fim da rega (26/07/12), parcela 3 e 4 (esquerda para direita).	75
Figura 4.22 – Fim da rega (26/07/12), parcela 2 (aproximada).	75
Figura 4.23 – Fim da rega (26/07/12), parcela 3 e 4 (esquerda para direita).	75
Figura 4.24 – Secagem de lamas industriais normalmente	77
Figura 4.25 – Secagem de lamas industriais com óleos.	77
Figura 5.1 – Arejamento no tanque de lamas ativadas	87
Figura 5.2 – Esquema de medições do OD no tanque	87
Figura 5.3 – Medições do OD diárias feitas com ciclos de 1 hora e meia com arejamento e meia hora sem arejamento, sob influência dos afluentes industrial e doméstico.	89
Figura 5.4 – Medições do OD feitas com arejamento permanente, sob influência dos afluentes industrial e doméstico.	89
Figura 5.5 – Medições do OD diárias feitas com ciclos de 1 hora e meia com arejamento e meia hora sem arejamento, sob influência dos afluentes domésticos.	90
Figura 5.6 – Medições do OD feitas com ciclos de meia hora com arejamento e meia hora sem arejamento, sob influência do afluente doméstico.	91

Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Ações RENAULT C.A.C.I.A. para desenvolvimento do programa <i>Zero Reject</i> .	8
Quadro 2.2 – Tipos de óleos de corte utilizados na C.A.C.I.A. Fonte: (C.A.C.I.A., 2012a)	17
Quadro 4.1 – Evolução do nº de colaboradores.	30
Quadro 4.2 – Resumo quantitativo dos consumos sectoriais hídricos da fábrica em 2011.	39
Quadro 4.3 – Resumo quantitativo dos Outputs na fábrica em 2011.	39
Quadro 4.4 – Resumo quantitativo sectorial dos efluentes finais da fábrica em 2011.	40
Quadro 4.5 – Resultados das análises ao efluente dos descalcificadores e respetivo volume.	42
Quadro 4.6 – Requisitos de qualidade de água recomendados para sistemas de arrefecimento semi-aberto, com recirculação de água.	44
Quadro 4.7 – Qualidade de água recomendada compressores (Ingersoll-Rand)	45
Quadro 4.8 – Volume do rejeitado da O.I. no depósito de atesto ás torres de refrigeração	47
Quadro 4.9 – Consumo diário referência de água de atesto nas torres de refrigeração.	47
Quadro 4.10 – Resultados das análises laboratoriais á mistura do R.O.I. e á água industrial.	48
Quadro 4.11 – Tipos de cenários variáveis	49
Quadro 4.12 – Verificação dos Requisitos 1 (WPCF) e 3 (QZPE) para vários cenários de mistura	51
Quadro 4.13 – Determinação do potencial corrosivo/incrustante para os vários cenários de atesto e diferentes ciclos de concentração.	54
Quadro 4.14 – Determinação dos <i>savings</i> diários de água fresca durante o período experimental	55
Quadro 4.15 – Plano de monitorização e controlo analítico da Etar.	58
Quadro 4.16 – Valores de referência para os principais parâmetros de qualidade para efluentes tratados.	63
Quadro 4.17 – Parâmetros analisados e o correspondente método analítico de referência utilizado	66
Quadro 4.18 – Volumes dos afluentes e efluente da ETAR nos anos 2009, 2010 e 2011.	66
Quadro 4.19 – Teste de correlação de Pearson entre valores diários de precipitação e volume do afluente industrial.	69
Quadro 4.20 – Teste de correlação de Pearson entre valores diários de precipitação e CQO do afluente industrial.	69
Quadro 4.21 – Necessidades Vs disponibilidades nos anos de 2009, 2010 e 2011.	70

Quadro 4.22 – Registos da precipitação mensal (SNIRH, 2012)	71
Quadro 4.23 – Caracterização físico-química e microbiológica do efluente da ETAR (2009 a 2011).	72
Quadro 4.24 – Caracterização físico-química do efluente da ETAR (2009 a 2011).	73
Quadro 4.25 – Volume diário de referência para rega.	74
Quadro 4.26 – Análises feitas ao efluente diário para rega.	75
Quadro 4.27 – Principais fatores limitativos e seus impactos.	76
Quadro 4.28 – Vantagens e desvantagens da desinfecção por ozonização (Monte & Albuquerque, 2010)	78
Quadro 4.29 – Problemas associados a reservatórios fechados e medidas de gestão para sua resolução (adaptado de(Metcalf & Eddy, 2004).	79
Quadro 5.1 – Eficiência de remoção de CQO nos tratamentos Físico-químico e Biológico da ETAR.	85
Quadro 5.2 – Valores médios do CQO do afluente Industrial entre 2009 e 2011.	86
Quadro 5.3 – Variáveis consideradas nas medições para os diferentes cenários.	88
Quadro 5.4 – Resumo cálculos da poupança económica para os diferentes cenários de arejamento.	92
Quadro 6.1 – Consumos antes e depois do reaproveitamento do ROI e poupança anual de água fresca	96
Quadro 6.2 – Investimentos iniciais necessários para o reaproveitamento.	96
Quadro 6.3 – Disponibilidade total média do efluente de Abril a Outubro.	97
Quadro 6.4 – Total de poupanças anuais.	97

Lista de Acrónimos

AdRA – Águas da Região de Aveiro

ARH – Administração de Região Hidrográfica

APCER – Associação Portuguesa de Certificação

ART – Água Residual Tratada

CACIA – Companhia Aveirense de Componentes para a Indústria Automóvel

CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio (5 dias)

CQO – Carência Química de Oxigénio

DL – Decreto de Lei

DRS – Delegado Regional de Saúde

DRSE – Direção de Responsabilidade Social da Empresa

ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FAO – Food and Agriculture Organization

IL – Índice de Saturação de Langelier

IR – Índice de Estabilidade de Ryznar

IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos

IVL – Índice Volumétrico de Lamas

NP – Norma Portuguesa

OD – Oxigénio Dissolvido

OI – Osmose Inversa

O&M – Operação e Manutenção

PGA – Plano de Gestão Ambiental

PNUEA – Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água

QZPE – Química Zew Produção e Equipamentos

RH – Rede Húmida

RHP – Risco Altamente Protegido

ROI – Rejeitado da Osmose Inversa

SA – Serviço Ambiental

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SIMRIA – Saneamento Integrado dos Municípios da Ria, S.a.

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SST – Sólidos Suspenso Totais

UET – Unidade Elementar de Trabalho

UTAC – União Técnica do Automóvel, Motociclo e Ciclo

UV – Ultra Violeta

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valo Máximo Recomendado

WPCF – Water Pollution Control Federation

ZLD – Zero Liquid Discharge

Parte I – Apresentação do estágio e da entidade de acolhimento

1 Introdução

A água foi no passado encarada e gerida como um recurso abundante e ilimitado e como tal esteve excluído, durante muito tempo, da agenda política prioritária a nível global. Fruto desta conceção generalizada resultou num uso intensivo, abusivo e desordenado dos recursos hídricos, tornando-se ainda mais visível pela sua irregularidade em termos temporais e no espaço geográfico (Correia, 1999). A questão da avaliação e correta gestão dos recursos hídricos tem assumido uma importância extrema e crescente, não só por parte dos países mais deficitários de água, mas por todo o mundo (Raposo, 1989).

Neste sentido, a água é um recurso imprescindível à grande maioria das atividades económicas, como a agricultura e a indústria, sendo também de extrema importância na melhoria da qualidade de vida das populações, sobretudo nas áreas do abastecimento de água, drenagem e respetivo tratamento de águas residuais, que influenciam em muito o impacto na saúde pública (Baptista, 2001).

Segundo a UNESCO, considerando a distribuição do uso da água pelos três principais setores (agricultura, usos domésticos e indústria) sabe-se que o principal uso da água a nível mundial é a agricultura (70%), seguido da indústria (22%) e por último os usos domésticos (8%). Considerando o grau de desenvolvimento económico de um país observa-se que, se por um lado, nos países de baixo ou médio grau de desenvolvimento económico o maior consumo de água verifica-se na agricultura (82%), por outro, nos países desenvolvidos os maiores consumos são na indústria (59%) (Unesco).

1.1 Importância do tema

Em Portugal estima-se que a maior parte da água consumida pela indústria (7% da totalidade) tenha origem em captações próprias (84%), através do uso de furos, poços ou águas superficiais, e na rede de abastecimento público (16%). Por sua vez, os maiores consumidores industriais de água a nível nacional registam-se no sector da transformação, nomeadamente no fabrico de: pasta de papel, cartão e papel (39%), produtos alimentares e bebidas (20%), metalúrgicas de base (11%), produtos químicos (10%) e têxteis (4%) (Baptista, 2001).

A disponibilidade de água numa região é um fator determinante na fixação, ou não, de uma dada indústria nessa região, especialmente no caso de indústrias com elevadas necessidades hídricas. Estas necessidades variam não só em questões de quantidade, como também em requisitos de qualidade, conforme o tipo de atividade da indústria. É portanto compreensível que o desenvolvimento socioeconómico de uma região esteja muitas vezes

diretamente relacionado com possibilidade de abastecimento de água à indústria (Monte & Albuquerque, 2010).

Como referido anteriormente, sendo a indústria o sector que apresenta maior consumo de água nos países desenvolvidos, é pois necessário que esta esteja ciente e atenta às formas e meios disponíveis para usar mais eficientemente este recurso natural essencial, contribuindo para a preservação ambiental.

A reutilização de águas residuais, na generalidade dos ramos do setor industrial, revela-se como uma oportunidade bastante benéfica. Para além de apresentar vantagens económicas e ambientais, associadas ao uso eficiente da água, enquadra-se nas estratégias de gestão de eco-eficiência que grande parte das indústrias utiliza na implementação dos seus sistemas de gestão ambiental, o que promove ainda uma melhoria da imagem das empresas (Monte & Albuquerque, 2010).

Neste contexto, ganha amplitude a ideia de reaproveitamento de água na indústria, provocada pela necessidade de reduzir os custos crescentes de tratamento, tanto na captação como na rejeição de efluentes. Esta política de reutilização de água proporcionará também uma diminuição da dependência da indústria relativamente às origens de abastecimento tradicionais, fator que pode limitar as atividades especialmente durante alturas de maior escassez ou em casos prioritários para outras utilizações (Monte & Albuquerque, 2010).

Já na década de 90, a procura contínua de melhorias no desempenho ambiental da indústria era encarado como um contributo fundamental para atingir o vital Desenvolvimento Sustentável, conceito consagrado durante a Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro em 1992.

Esta linha é salientada no programa de ação da Agenda 21, sendo referido que: *“Através do uso de processos de produção mais eficientes, estratégias preventivas, tecnologias de produção mais limpas e procedimentos durante todo o Ciclo de Vida de um produto, portanto, minimizando ou evitando desperdícios, as políticas e operações das empresas e da indústria, inclusive as grandes companhias multinacionais, podem desempenhar um papel muito importante na redução dos impactes sobre o uso de recursos e o ambiente. Inovações tecnológicas, desenvolvimento, aplicações, transferências e os aspetos mais abrangentes de parcerias e de cooperações estão, em larga escala, dentro das competências das empresas e da indústria.”* (United Nations, 1992).

Um exemplo deste esforço é o conceito criado de *Zero Liquid Discharge (ZLD)*, assente na implementação de práticas de uso de água mais eficientes e na adoção de medidas de reciclagem interna (T. Asano et al., 2007). Este conceito vem no seguimento de metas ambientais rigorosas colocadas à indústria, em especial no que toca a descargas de águas residuais, tendo como meta a longo prazo a eliminação de todas as descargas de resíduos em águas recetoras.

A nível nacional, esta preocupação mundial de desenvolvimento sustentável através da redução dos impactes sobre o ambiente e o uso dos recursos, neste caso a água, é espelhada no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), que foi elaborado em 2001, estando a ser feita atualmente a sua revisão. Este programa, de carácter estratégico, tem como principal objetivo a promoção do uso eficiente da água em Portugal, nos setores urbano, agrícola e industrial, através da recomendação de 87 medidas concretas que conduzem à alteração de práticas para o uso eficiente deste recurso. Destas medidas, 14 estão direcionadas para a indústria e agrupadas de acordo com as respetivas aplicações: a)

medidas gerais; b) medidas ao nível do processo de fabrico; c) medidas ao nível dos sistemas de transferência de calor; d) medidas relativas à limpeza de instalações e de equipamentos; e) medidas aplicáveis aos usos de água nas fábricas, para fins similares aos urbanos (Baptista, 2001).

As intervenções de otimização na utilização da água sugeridas pelo PNUEA, traduzem-se na adequação de procedimentos nas indústrias (com possíveis alterações de hábitos), na procura e utilização de dispositivos e equipamentos com maior eficiência e na adoção de sistemas de recirculação e/ou reutilização de águas de qualidade inferior.

Em Portugal verificam-se alguns casos exemplares de unidades fabris, que conseguiram atingir taxas de 50 a 60% na redução total de água consumida e taxas de 70 a 75% em reutilização/recirculação de águas residuais industriais (Baptista, 2001).

O grupo Renault é uma multinacional cuja principal filosofia se baseia, há muito tempo, na procura do melhor equilíbrio possível entre quatro grandes pilares (Renault, 2012):

- Eficiência/sustentabilidade económica do grupo;
- Responsabilidade social para com todos os seus colaboradores;
- Contributo para o desenvolvimento das regiões onde as suas fábricas estão inseridas;
- Respeito pelo meio ambiente.

Este compromisso com a redução dos impactes no meio ambiente está bem patente na preocupação que a Renault tem durante todas as fases do ciclo de vida dos seus automóveis, desde a conceção/design de todos os componentes, passando pela produção e utilização dos automóveis, até ao destino final do veículo como resíduo (C.A.C.I.A., 2008).

A política ambiental da C.A.C.I.A. insere-se na política de desenvolvimento sustentável do Grupo Renault e subscreve todos os princípios estabelecidos pela política industrial, tendo implementado um sistema de gestão ambiental (SGA) validado pela Certificação ISO 14001 desde 2000. Como resultado deste respeito pelo meio ambiente, todas as peças produzidas na C.A.C.I.A. possuem identificação de produto Eco2. Este selo ambiental é dado apenas aos veículos e aos seus componentes produzidos em fábricas certificadas pela norma ISO 14001. Atualmente, todas as fábricas do grupo Renault são certificadas por esta norma (C.A.C.I.A., 2011).

As ações de redução dos impactes e riscos ambientais, inseridas na política ambiental da C.A.C.I.A., assentam em quatro eixos de trabalho: separar e valorizar os resíduos, controlar os produtos químicos utilizados, otimizar os consumos de energia e de água, e limitar (qualitativamente e quantitativamente) os efluentes líquidos lançados nos meios hídricos ou coletores municipais. O reaproveitamento de águas residuais na indústria enquadra-se nestas premissas.

No entanto, este reaproveitamento representa uma opção técnico-económica em que o benefício de dispor de uma origem de água alternativa pode não compensar o custo da sua disponibilização (Monte & Albuquerque, 2010). Para isso é necessário que seja feita uma correta avaliação da sua viabilidade em que sejam incluídos na equação todos os custos e todos os benefícios daí retirados. É com base nestes pressupostos, atendendo à importância que o tema confere a uma melhor eficiência no uso da água, que foi realizado um estágio na RENAULT C.A.C.I.A. durante um período de nove meses.

1.2 Objetivos do Estágio

O estágio teve como principal objetivo a identificação de fontes pontuais potenciais para a reutilização das águas residuais industriais da RENAULT C.A.C.I.A. Para atingir este objetivo foi necessário seguir um plano de trabalho baseado em:

- Identificação e caracterização, tanto qualitativa como quantitativa, dos diferentes pontos de consumo de água na fábrica.
- Identificação e caracterização dos diferentes efluentes emitidos pela unidade fabril.
- Análise dos potenciais tratamentos complementares que possibilitassem a reutilização das águas residuais.
- Testar as oportunidades e tratamentos identificados para o reaproveitamento das águas residuais na fábrica.
- Realização de uma avaliação técnico-económica das diferentes soluções encontradas para viabilização por parte C.A.C.I.A.

Para além do mencionado no plano de trabalho, foram igualmente realizadas outras tarefas ligadas á temática da água, que serão abordados nos capítulos 3. e 5.

2 Renault C.A.C.I.A., S.A.

2.1 Apresentação geral da empresa

O presente estágio curricular foi desenvolvido na unidade fabril da RENAULT C.A.C.I.A., S.A. localizada na zona industrial norte de Aveiro, mais precisamente na vila de Cacia, e inserida na zona do Baixo Vouga lagunar. Favorecida geograficamente pela convergência dos mais importantes meios de comunicação (marítimos, rodoviários, ferroviários e aéreos - Aeroporto do Porto), a RENAULT C.A.C.I.A. consegue uma eficaz circulação de pessoas, produtos e equipamentos, fomentando as relações e fluxos comerciais com os mais diversos países (C.A.C.I.A., 2008)

Esta fábrica, ligada ao grupo RENAULT, iniciou a sua atividade em 1981, produzindo exclusivamente caixas de velocidades, iniciando um ano mais tarde a maquinação e montagem de motores. Em 1997 abre a sua atividade a construtores fora do grupo Renault. Contudo em 1999 dá-se uma filialização da fábrica, resultando em 2001 numa total concentração da atividade para o grupo Renault.

Em 2011 contava com cerca de 1200 colaboradores, com um variado domínio de competências nas mais diversas áreas e com uma média de idades a rondar os 42 anos. Estes colaboradores estão distribuídos por três turnos - manhã, tarde e noite – e, sempre que necessário, um turno ao fim-de-semana, de forma a assegurar um trabalho contínuo de 24 sobre 24 horas.

A RENAULT C.A.C.I.A. (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) estende-se or uma área total de 34 hectares, sendo que destes, 15,5 são de área impermeabilizada e 8,6 hectares de área coberta para albergar: edifícios de produção (Edifício sul, denominado Edifício das Caixas – pois apenas são produzidas caixas de velocidades; Edifício Norte – Edifício dos Motores, pois fabrica variados componentes de motor automóvel; tratamentos térmicos), administração, central de fluidos, armazém geral, garagem, estação de tratamento de águas residuais (ETAR), armazém de produtos químicos, parque de resíduos, oficinas gerais, centro de formação técnico, posto médico, restaurante, zonas desportivas e zona de lazer.



Figura 2.3 – Fotografia aérea da C.A.C.I.A. (C.A.C.I.A., 2011).

Parte da área total está também ocupada, com o acabado pavilhão do projeto da fábrica de baterias elétricas da Renault-Nissan, suspenso entretanto por tempo indeterminado.

Hoje em dia esta unidade fabrica uma vasta gama de componentes mecânicos para a indústria automóvel, como caixas de velocidades JR e ND, bombas de óleo, árvores de equilibragem, coletores, volantes, eixos balanceiros, entre outros componentes em ferro fundido, alumínio e aço. Toda a produção se destina à exportação, sendo os clientes outras fábricas de montagem de veículos exclusivamente do Grupo RENAULT – NISSAN, e estando estes espalhadas por todo o mundo, como: Europa, Marrocos, Chile, Brasil, Argentina, Rússia, Índia, Turquia, Irão, China e Indonésia (C.A.C.I.A., 2012a).

Em termos organizacionais a RENAULT C.A.C.I.A. está dividida em várias Direções/Departamentos e dentro destas em UET's (Unidades Elementares de Trabalho) de acordo com as funções exercidas em cada sector.

A estrutura organizacional da RENAULT C.A.C.I.A. apresenta uma série de áreas orgânicas como:

I) **Manutenção, Energia, Fluidos e Ambiente** – O principal objetivo da manutenção desenvolve-se com um modo de atuação preventivo ou corretivo. Quando preventivo é efetuado de forma sistemática segundo um plano anual gerado automaticamente por um programa informático e apresenta-se maioritariamente sob a forma de lubrificações, inspeções e intervenções sistemáticas. Todas as manutenções periódicas, como no período de paragem, a equipamentos específicos (ex: compressores, desmineralizadores, etc.) ficam a cargo de empresas externas especializadas. Este departamento encarrega-se também da manutenção das redes: elétrica, ar comprimido, água (sobreaquecida, refrigerada, industrial, potável, incêndios e rega), da rede de óleo de corte e do tratamento de efluentes líquidos/gasosos, e da gestão de todos os resíduos produzidos na fábrica.

II) **Produção** – Esta área orgânica subdivide-se em 3 processos de fabricação: maquinação, tratamentos térmicos e montagem. A produção assegura a constante produtividade da organização, alocando pessoas e/ou equipamentos consoante as flutuações na procura. O controlo de qualidade é realizado pelo pessoal afecto à produção. Esta área é também responsável por ganhar novos projetos junto do grupo RENAULT.

III) **Informática** – A informática encarrega-se de manter funcionais todos os terminais informáticos, bem como os programas essenciais ao correto funcionamento da organização. É ainda responsável pela interligação das várias áreas bem como aos *data centers* alojados em França.

IV) **Engenharia** – Todas as intervenções no espaço produtivo, como a redefinição de *layouts*, aquisição ou intervenção de melhoria nas máquinas, entre outras, ficam ao encargo da engenharia.

V) **Qualidade** – É responsável por assegurar e garantir elevados níveis de qualidade exigidos pelos clientes da Aliança RENAULT-NISSAN.

VI) **Logística** – A logística processa as encomendas dos clientes, realiza encomendas junto dos fornecedores e assegura o despacho do produto acabado. É também responsável por encontrar e negociar formas mais económicas no transporte das mercadorias, quer a nível interno quer a nível externo.

VII) **Centro de Formação Técnica** – Responsável pela realização de ações de formação, para actuais e futuros colaboradores, nas mais diversas áreas técnicas de acordo com as necessidades emergentes da C.A.C.I.A.

VIII) **Edifício da Administração** – No edifício da Administração, estão concentrados os serviços de Recursos Humanos, Contabilidade, Compras, Comunicação e Gestão.

A localização de todas as áreas em questão encontra-se no Anexo I (Figura I.1).

A RENAULT C.A.C.I.A. tem várias certificações, comprovando a sua preocupação em termos de qualidade, ambiente e segurança (C.A.C.I.A., 2011):

- Certificação RHP – desde 1993
- ISO 9002 – Certificação da Qualidade, desde 1997 (pela UTAC)
- ISO 9001-2000 – Certificação do Sistema de Gestão da Qualidade, desde 2002 (UTAC) e 2008 (APCER)
- ISO 14001 – Certificação Ambiental, desde 2000 (UTAC) e 2008 (APCER)
- Label SQR
- Label do Sistema de Gestão de Higiene e Segurança no trabalho, desde 2004 (UTAC)

2.2 Preocupação ambiental da RENAULT C.A.C.I.A.

A preocupação do Grupo Renault em relação a todas as fases do ciclo de vida dos seus automóveis resulta numa aproximação à política dos 4 R's (reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar), em relação a todos os resíduos resultantes da fase de produção e reciclagem dos veículos em fim de vida. Esta filosofia vai também de encontro ao conceito de ZLD, em relação aos efluentes líquidos, referido no subcapítulo 1.1.

Desde 2008, até aos dias de hoje, a RENAULT C.A.C.I.A. segue as diretrizes do programa *Zero Reject* do Grupo, numa vontade da Renault em reduzir para o mínimo, senão para zero, a rejeição de efluentes líquidos tanto para os meios recetores e/ou coletores municipais.

Com base em três eixos de desenvolvimento, projeto zero efluentes líquidos (redução e reutilização da água dos processos), estudo do aproveitamento das águas pluviais e estudo do aproveitamento da água à saída da ETAR (C.A.C.I.A., 2008), foram delineadas pela C.A.C.I.A. um conjunto de ações realizadas para ir de encontro às expectativas e políticas Corporativas na gestão dos resíduos líquidos.

Estas ações dividem-se em ações de redução dos efluentes rejeitados ao mínimo e de reaproveitamento dos efluentes, e estão resumidas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Ações RENAULT C.A.C.I.A. para desenvolvimento do programa *Zero Reject*.

Ações: <i>Rejet</i> mini (RM) e reaproveitamento da água (RA)	
RM	Caracterizar os afluentes da ETAR (volume e concentração)
RM	Redução da diversidade de produtos químicos - TT (tratamentos térmicos)
RM	Seguimento rigoroso da mudança das máquinas de lavar
RM	Otimização dos sistemas de desoleamento das máquinas de lavar
RM	Aplicação de sistemas eficazes de recuperação dos fluidos de corte dos contentores de limalha
RM	Recuperação dos efluentes das centrifugadoras de limalhas como resíduo
RM	Atualizar projeto de centralização das máquinas de lavar
RM	Gestão das máquinas de lavar
RM	Tratamento adaptado nas centrais C6 e C13
RA	Reaproveitamento das purgas das torres de arrefecimento
RA	Reaproveitamento do sistema de desmineralização.
RM	Ligação da rede de água sanitária ao coletor municipal
RA	Estudo do aproveitamento da água à saída da ETAR
RA	Aproveitamento da água da chuva na produção de água desmineralizada
RM	Efetuar ensaio no desferrizador de forma a aumentar a qualidade da água
RA	Efetuar caderno de encargos de aproveitamento da água à saída da ETAR, considerando o tratamento da água para rega
RM	Aplicação de torneiras temporizadas nos duches
RA	Acompanhamento da utilização de água pluvial na produção de água desmineralizada
RA	Capitalização do processo de utilização de água pluvial

O SGA da C.A.C.I.A. foi implementado em 2000, tendo passado por uma fase de estudo das condições ambientais e pelo desenvolvimento de um Programa de Gestão Ambiental (PGA), em sintonia com a política ambiental da fábrica, e que visa efetuar um controlo e uma melhoria contínua dos aspetos ambientais mais significativos (água, energia, emissões atmosféricas, resíduos, solos, produtos químicos, etc.). Anualmente a C.A.C.I.A. define novos objetivos de redução ou melhoria destes aspetos ambientais significativos, sendo estes incluídos no PGA de cada setor da fábrica. As ações para atingir estes objetivos são desenvolvidas pelos vários setores, sendo a sua implementação responsabilidade de todos os colaboradores. Para medir os progressos realizados e identificar os desvios em relação aos objetivos iniciais são definidos indicadores que são monitorizados pelo Serviço Ambiental (SA) (C.A.C.I.A., 2008), como demonstra a Figura I.2 no Anexo I.

Sendo a água um destes aspetos ambientais mais significativos e tendo como objetivo ambicioso uma redução de 30% no consumo anual de água captada do furo até 2016 (relativamente ao valor de 2010), têm que ser tomadas em linha de conta todas as ações que foram preconizadas para atingir esta meta.

2.3 Abastecimento, tratamento, armazenamento, distribuição e utilizações da água

Para a realização deste estudo foi necessário conhecer, tanto geograficamente como fisicamente, todas as infraestruturas/instalações e equipamentos que estão diretamente ligadas às diferentes etapas de captação, tratamento e consumo de água na unidade fabril da C.A.C.I.A. Foi portanto necessário recolher informações coerentes de como, onde e porquê é utilizada água nos distintos pontos, recorrendo para isto a visitas às instalações e equipamentos fabris, diversos diálogos com os responsáveis, bem como a análise de variados documentos respeitantes às áreas processuais em questão.

Neste capítulo são descritos sucintamente os diferentes componentes nos processos de abastecimento/captação, tratamento, armazenamento, distribuição e utilizações de água.

2.3.1 Abastecimento/Captação

A água consumida na RENAULT C.A.C.I.A. pode ter origem em duas fontes: a rede pública e a captação própria de água subterrânea.

Rede de abastecimento público: Com um consumo de água pouco significativo, esta é apenas utilizada em situações pontuais de restrição na captação dos furos, como: avaria nas bombas de captação, avaria no sistema de desferrização ou por necessidade de manutenção do sistema de captação, tratamento e armazenamento (é feita por norma, anualmente, uma lavagem geral das cisternas durante a paragem da fábrica em Agosto).

Furos 1 e 2: A grande maioria da água consumida na fábrica provém de dois furos, devidamente licenciados, existentes nos terrenos da C.A.C.I.A. Estes captam água de um aquífero profundo, entre os 34 e 150 metros de profundidade. A água bruta captada do furo 1 (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) tem uma licença de captação ensal, para consumo humano, na ordem dos 15.000 m³ (esta licença é válida até 2013) e abastece a cisterna de água potável. O furo 2 tem uma licença mensal, para consumo industrial, de 10.000m³ e abastece a cisterna de água industrial que está interligada com a cisterna de incêndios.



Figura 2.4 – Captação de água do furo 1.

2.3.2 Tratamento de água bruta

A água proveniente dos furos de captação possui teores de ferro na ordem dos 5 mg/L, pelo que necessita de sofrer um tratamento prévio antes de ser consumida, realizado na ETA.

Estação de Tratamento de Água (ETA): Devido aos elevados níveis em ferro e manganês verificados na água bruta captada dos furos é necessário efetuar uma desferrização (Figura 2.3), antes de qualquer uma das utilizações. Para a oxidação e precipitação do ião ferro é adicionado, em linha ar comprimido, seguido da passagem por uma torre de oxidação (volume da torre de oxidação 3,8 m³), sendo a eliminação efetuada através de um processo de filtração utilizando uma torre com meio filtrante de areia e antracite (volume da torre de filtração 6,8m³). Este sistema de desferrização tem uma capacidade máxima de produção de 20 m³/h.

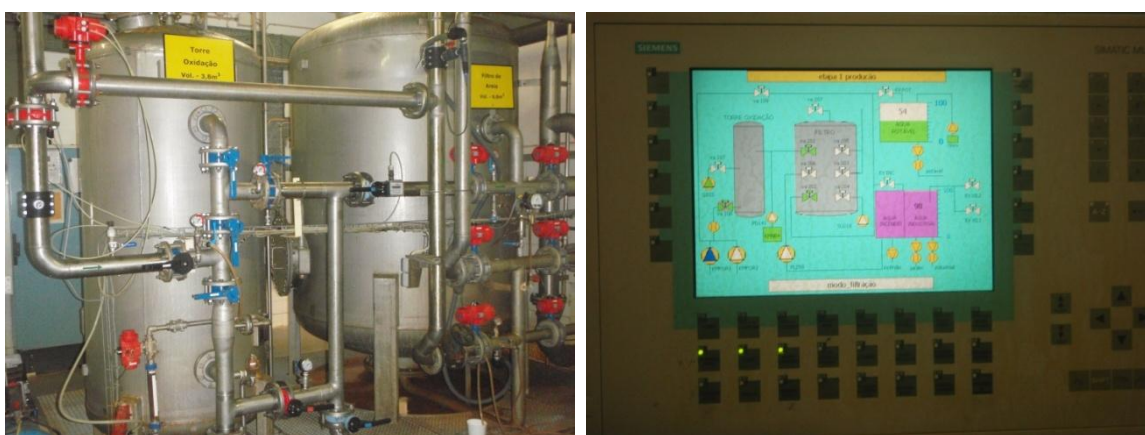


Figura 2.3 – Desferrização e autómato de controlo de produção de água fresca.

2.3.3 Armazenamento de água

Após o tratamento de desferrização, a água é direcionada e armazenada, em reservatórios (Anexo I, Figura I.3), para posterior distribuição de forma a cobrir as necessidades da fábrica.

Reservatório de água potável: Nesta cisterna é adicionado hipoclorito de sódio, (NaClO) por dosagem automática. Esta cisterna tem uma capacidade máxima de 108 m³ de água para usos domésticos, sendo no entanto também utilizada na lavagem de carros de serviço na garagem e na atividade operacional da ETAR.

Reservatório integrado de água industrial, rega e incêndios: Esta cisterna encontra-se dividida em dois compartimentos, sendo o maior destinado ao armazenamento de água para incêndios, com um volume de 465m³, e o menor utilizado como reservatório de água para fins industriais e para rega, com um volume de 150 m³. A água armazenada no compartimento de água industrial e rega resulta do excedente de água que transborda do compartimento de água para incêndios.

Reservatório incêndios rede húmida (RH): Localizado junto à central de fluidos, com um volume de 800 m³, este reservatório tem como principais funções a reserva de água para o combate a incêndios e manter sob carga a rede de incêndios por ação de bombas *Jockey*.

Estas são acionadas quando se verificam pequenas perdas de carga resultantes de alguma fuga na rede ou de incorretas/pontuais utilizações de mangueiras de incêndio. A utilização deste sistema evita assim o acionamento das potentes motobombas (situadas na cisterna de incêndios) que serão apenas ligadas automaticamente no caso de grandes perdas de carga na rede, resultantes de alguma situação de fogo real ou algum simulacro.

A adução deste reservatório é feita a partir da cisterna de água industrial.

2.3.4 Distribuição e utilizações da água

Após a captação e tratamento, a água armazenada nos diferentes reservatórios é distribuída pelas diferentes necessidades de utilização interna. Na Figura 2.4 pode visualizar-se um esquema desta distribuição pelos diversos tipos de utilizações/processos.

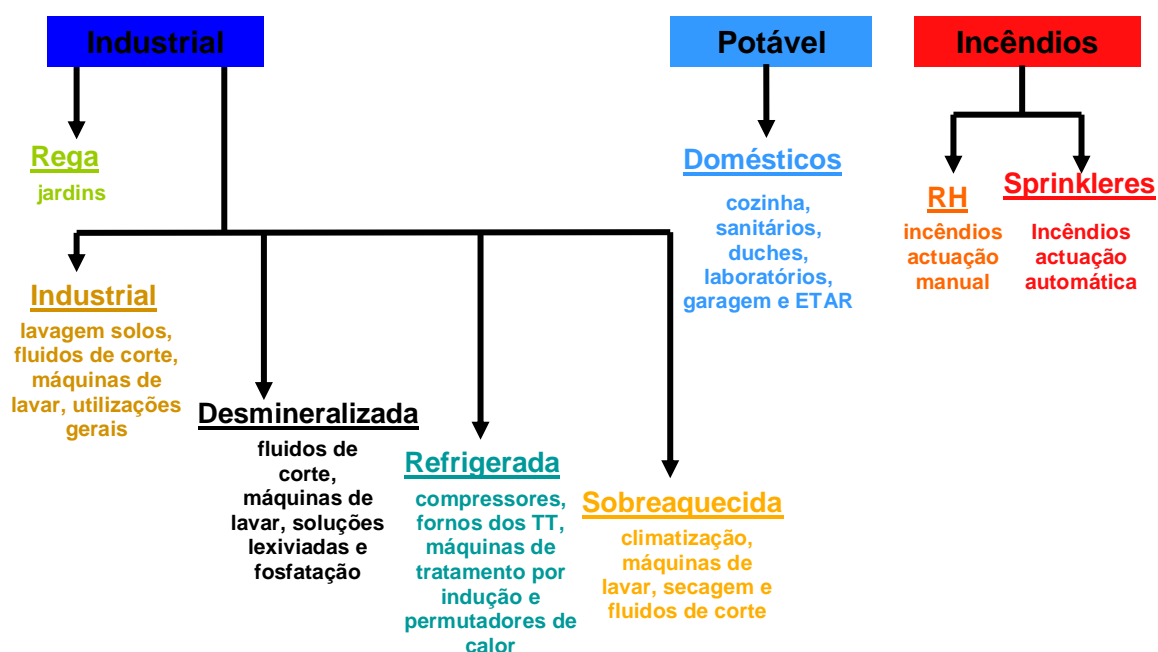


Figura 2.4 – Principais processos e atividades usuárias de água.

Na Figura 2.5 pode ser visualizada uma planta geral das redes de água: potável, industrial, incêndios e de refrigeração, com destaque na localização dos furos e dos reservatórios.

Domésticos – Os principais pontos de utilização de água potável na C.A.C.I.A. são: as inúmeras unidades sanitárias existentes por toda a fábrica, as duas unidades de balneários (uma localizada no edifício das caixas, a outra no edifício dos motores), o restaurante/cantina, o posto médico, a garagem, a ETAR e os laboratórios de apoio à fabricação (laboratório eletrónico, laboratório químico, laboratório de ensaios mecânicos e o laboratório de metrologia).

Incêndios – A rede de incêndios cobre a maior parte da fábrica, alimentando os inúmeros *Sprinkleres* e mangueiras distribuídos pela C.A.C.I.A., sendo por vezes incorretamente utilizada água desta rede para limpezas e outros fins que não o combate a incêndios. Adicionalmente, a fábrica conta com mais de 30 anos de existência, propiciando algum desgaste da rede e favorecendo a ocorrência de fugas pontuais, que são reparadas assim que detetadas.

Produção de água desmineralizada: a água desmineralizada permite baixar o teor de sais nos fluidos. Foram instalados, em 2007, dois sistemas “gémeos” de osmose inversa para filtragem e “desmineralização” da água industrial (Figura 2.6). Uma instalação disponibiliza água desmineralizada para o edifício dos motores e outra para o edifício das caixas. Com uma capacidade máxima de produção de 1,2 m³/h de água permeada, estes sistemas permitem retirar a maioria dos sais minerais e outros componentes á água, conferindo-lhe características de pureza benéfica para utilização desta em processos químicos industriais, como a fosfatação. Estes sistemas resultam numa melhoria considerável na qualidade dos banhos das máquinas de lavar e das emulsões de óleo de corte, resultando num aumento significativo da sua durabilidade.

Cada uma destas instalações é composta por: dois filtros multimédia (filtros de areia) para fazer um pré-tratamento, seguindo-se uma pré-filtração composta por dois filtros de 10 µm, duas colunas de permuta iónica (ou descalcificadores), dois filtros de carvão ativado, uma microfiltração composta por dois filtros de 1 µm cada, uma desinfeção por ultravioleta e um sistema de osmose inversa.



Figura 2.6 – Desmineralização com descalcificador e osmose inversa.

Rega – Esta água destina-se à irrigação dos seis hectares de zonas ajardinadas compostas por áreas relvadas, zonas de árvores, arbustos e floreiras, durante os meses de menor pluviosidade e com temperaturas mais elevadas. Este sistema de rega é totalmente automatizado, sendo na sua grande maioria feito por aspersão e apenas uma pequena fração pelo método de rega gota-a-gota.

Sobreaquecida – A água sobreaquecida utiliza água da rede industrial que é aquecida em três caldeiras, com uma capacidade térmica instalada de 6.000.000 Kcal/h, localizadas na central de fluidos. Esta é posteriormente utilizada na climatização de toda a fábrica e no aquecimento de fluidos (fluidos de corte, banhos de algumas máquinas de lavar e de secagem), utilizados em máquinas específicas envolvidas na produção. A climatização da fábrica só se justifica, normalmente, por um determinado período de tempo (de Novembro a Março).

Refrigerada – A água de refrigeração/arrefecimento resulta da necessidade de retirar carga térmica de um sistema constituído por uma série de equipamentos como: compressores, fornos dos tratamentos térmicos, máquinas de tratamento por indução e permutadores de calor. Para arrefecer a água aquecida por este sistema são utilizadas três torres de refrigeração, tal como mostra a Figura 2.7, que operam em sistema de circuito semi-aberto, com recirculação de água e com tiragem do ar nas torres por indução em contracorrente (cada uma das torres possui no topo um exaustor que “puxa” o ar lateralmente para o seu interior promovendo o contacto contra o fluxo das gotículas que caem sobre o enchimento) (Mancuso, 2001).



Figura 2.7 – Torres de Refrigeração. Fonte: (C.A.C.I.A., 2008).

Industrial – A água industrial é utilizada para variadas finalidades e em diferentes pontos da fábrica.

A maquinação em precisão das peças brutas compreende diferentes processos como: torneamento, talhagem, fresagem, rebarbagem, furação, retificação, etc. Todas estas operações de maquinação, por arranque de aparta, utilizam variadas máquinas-ferramenta, que fazem uso de diferentes óleos de corte consoante as ações pretendidas:

- Ação refrigerante, reduzindo o calor por fricção entre peça e ferramenta, e aumentando o calor dissipado para o meio ambiente;
- Ação lubrificante, diminuindo o atrito entre aparta/ferramenta e peça/ferramenta;

- Ação mecânica, promovendo a remoção/evacuação das limalhas da peça, da ferramenta e da zona maquinada;
- Ação química, protegendo a peça e a máquina de reações de oxidação ou corrosão.

Existem vários tipos de fluidos de corte de acordo com a sua solubilidade em água, estando caracterizados no quadro Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Tipos de óleos de corte utilizados na C.A.C.I.A. Fonte: (C.A.C.I.A., 2012b).

Óleos minerais insolúveis (óleos inteiros)	Óleos solúveis		
	Emulsão plena	Emulsão semi-sintética	Emulsão sintética
<ul style="list-style-type: none"> ▪ óleos de corte integrais aditivados, cujas características permitem uma lubrificação máxima; ▪ empregues quando há grandes exigências nas propriedades “anti-gripantes”, anticongelantes e lubrificantes; ▪ a aditivação e a qualidade do óleo orientam as diferentes aplicabilidades deste óleo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ produtos contendo 50% ou mais de óleo mineral; ▪ quando aplicados como óleos de corte, são primeiramente misturados com água ▪ emulsão cor leitosa opaca, cuja principal característica é uma boa lubrificação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ conteúdo em óleo mineral varia entre os 20% e os 50%; ▪ são produtos com matérias menos convencionais em que normalmente a mistura é facilitada, mais estável e menos suscetível, aos efeitos da dureza da água, do que os óleos solúveis normais; ▪ produto versátil pois associa as vantagens do óleo sintético á boa lubrificação do óleo mineral. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ produtos totalmente à base de matéria-prima sintetizada sem qualquer adição de óleo mineral; ▪ excelente poder detergente, possuindo também alguma capacidade lubrificante; ▪ produtos menos afetados pelo tipo de água criando soluções estáveis e eliminando problemas de formação de sabões e outras reações químicas.

A água industrial e a água desmineralizada são utilizadas como principais fluidos solventes nas emulsões de óleo de corte, contribuindo grandemente nas características da emulsão. A água pode influenciar uma emulsão por ação da sua dureza, relacionada com a quantidade de sais minerais presentes na água (cálcio, magnésio, etc.); teor em cloretos, i.e. iões de cloro livre responsáveis por fenómenos de oxidação e corrosão; e microrganismos, i.e. bactérias e fungos, que depois da mistura com o óleo, encontram condições muito favoráveis ao seu desenvolvimento.

O abastecimento de fluidos de corte é feito de forma centralizada, permitindo a aplicação da política *Zero Reject*, garantindo o controlo de todos os seus parâmetros (coloração, concentração, ph, proteção corrosiva, níveis de bactérias/fungos/leveduras, óleos contaminantes, dureza, teor em cloretos e partículas). Estes fluidos de corte são distribuídos e recolhidos ciclicamente consoante os diferentes processos de maquinaria e material maquinado, como se pode ver no Anexo I (Quadro I.1).

Após a maquinaria, as peças sofrem uma lavagem, e por vezes uma pré-lavagem, para remoção dos óleos de corte e limalhas, para proteção das peças contra a oxidação e garantir a salvaguarda das operações seguintes de contaminações e poluentes. Para isto são utilizadas inúmeras máquinas de lavar e de secar conectadas a distintas centrais de lavagem em rede (similarmente ás centrais de óleo de corte, Anexo I, Quadro I.1), em que são preparados e distribuídos os banhos de lavagem (utilizando água industrial e desmineralizada), consoante os distintos fluidos de corte utilizados nas peças e o material destas.

As máquinas de lavar, em contraponto às máquinas-ferramenta, são na sua grande maioria autónomas e descentralizadas, estando distribuídas pelos dois pavilhões (Caixas e Motores), nomeadamente no pavilhão dos tratamentos térmicos e no edifício do *partenon*, onde se dá a lavagem dos termoformados (moldes plásticos que acondicionam as caixas de velocidades durante o processo de fabrico, e que devido ao seu uso contínuo, necessitam de uma lavagem e secagem antes de cada reutilização).

Antes da fosfatação é necessária uma prévia lavagem para remoção de óleos e gorduras das peças e só depois é aplicada, via spray ou por imersão, uma solução de ácido fosfórico saturado de um fosfato metálico, no sentido de melhorar a resistência das peças à corrosão e aumentar aderência às pinturas.

Toda a atividade corrente de maquinaria na fábrica gera inúmeros derrames e fugas, resultando numa permanente necessidade de limpeza e lavagem dos solos. Esta lavagem é feita por uma empresa externa de limpezas que utiliza máquinas potentes, que por sua vez usam grandes quantidades de água da rede industrial e recorrem normalmente a picagens localizadas nas denominadas “zonas de despejo” (uma no edifício das Caixas e outra nos Motores) para se abastecerem.

Para além da empresa de limpezas, existem outras empresas externas que permanecem continuamente em funções na C.A.C.I.A., estando alojadas em pavilhões pré-fabricados, geralmente chamados “algecos”, e que também utilizam água industrial para a sua atividade.

2.4 Rejeição de águas residuais e pluviais

Neste capítulo, por analogia ao subcapítulo 2.3., são descritos sucintamente os diferentes efluentes, analisando sob que forma e em que pontos são produzidos. São também apresentadas as redes de coletores de esgotos e os seus destinos finais.

2.4.1 Origem efluentes líquidos rejeitados

Relativamente, aos efluentes líquidos verifica-se a proveniência de três grupos distintos, nomeadamente:

Efluentes industriais: Estes resultam dos vários processos industriais, como no caso das centrais de óleo de corte. Nestas existe um controle permanente dos vários parâmetros de qualidade nas emulsões sendo efetuadas descargas sempre que necessárias, totais ou parciais, para refazer as emulsões de corte com as concentrações ideais. Cada vez mais se procura utilizar até ao limite estas emulsões, aumentando assim a sua durabilidade. Para isso as centrais efectuam a separação dos resíduos indesejáveis no próprio local, recorrendo a diferentes tecnologias de filtração por: gravidade, pressão, depressão (Figura 2.8), centrifugação e filtração tangencial (C.A.C.I.A., 2012b).

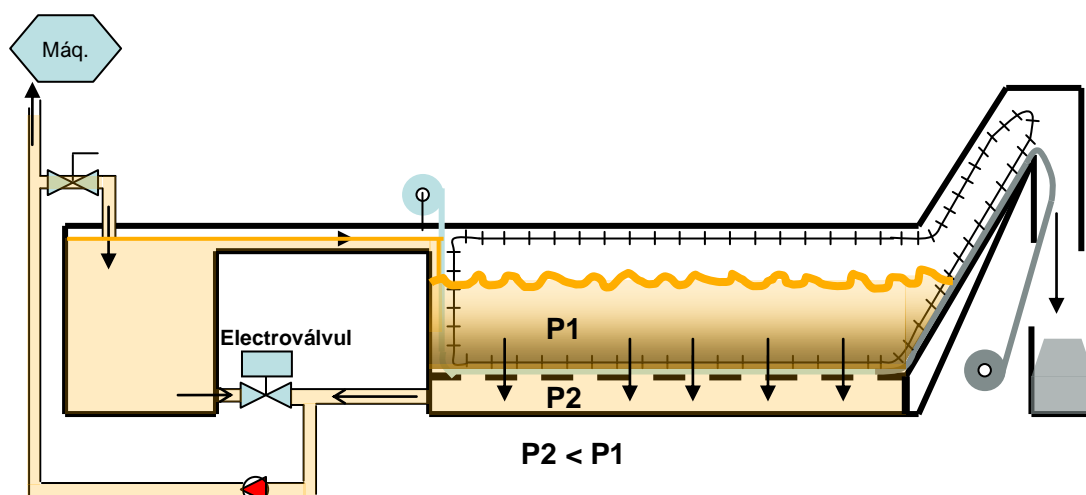


Figura 2.8 – Sistema de filtração por depressão (C.A.C.I.A., 2012b).

No caso das centrais de lavagem a qualidade dos banhos é também acompanhada regularmente. Devido à constante perda de água por evaporação (a temperatura ronda os 50°C), à circulação e reutilização do banho no circuito surge uma sucessiva variação na concentração de produto e conseqüente perda de qualidade. Sendo necessária uma permanente monitorização de parâmetros como: a concentração do produto de lavagem e de óleos estranhos, o pH e a temperatura do banho de lavagem (C.A.C.I.A., 2009). Para uma boa gestão dos banhos, as centrais também dispõem de meios desoleadores, como centrifugação (caso da central C17), filtração e decantação nas outras centrais, sendo por vezes necessário fazer descargas parciais ou totais para refazer banhos com as concentrações desejadas e/ou limpar centrais (como por exemplo nas paragens).

Como foi dito no capítulo anterior, existem máquinas de lavar autónomas nos dois pavilhões (Caixas e Motores), no pavilhão dos tratamentos térmicos, na fosfatação e no edifício *partenon*. Nas máquinas de lavar autónomas, a separação de óleos estranhos é feita no próprio local com recurso a desoleadores, por decantação, aspiração e/ou centrifugação. A frequência de mudança do banho destas máquinas está pré-definida e, por isso, é muito superior à das centrais (havendo o caso de mudanças diárias).

Outros locais a considerar são as “zonas de despejo”, resultado dos efluentes da lavagem diária dos solos que aí são descarregados, assim como o Parque de Resíduos onde se dá a separação dos diferentes óleos de corte das limalhas por ação de centrifugação e escorrência.

Outro grande gerador de efluentes resulta da lavagem da torre de filtração, no processo de desferrização, feita automaticamente, compreendendo várias etapas como: vazamento, lavagem com ar comprimido, lavagem com água em contracorrente e co-corrente (enxaguamento). Adicionalmente, a lavagem manual periódica da torre de oxidação também gera efluentes.

É preciso ter-se em consideração, que durante o processo de desmineralização cerca de metade da água bruta (industrial) que entra no sistema é utilizada para lavagem dos filtros,

para regeneração das colunas de permuta iónica e parte é rejeitada durante o processo de osmose inversa, resultando numa grande quantidade de efluente rejeitado.

O processo de arrefecimento de água nas torres de refrigeração gera também uma quantidade significativa de efluente, devido às purgas sistemáticas necessárias para regular a concentração de sais na água, como foi descrito no capítulo 2.3.4. Adicionalmente, tem-se o efluente resultante das lavagens manuais periódicas do filtro de areia aí localizado, utilizado para filtração parcial da água de retorno.

Efluentes domésticos: São o resultado de todas as atividades domésticas apresentadas no subcapítulo 2.3.4., sendo que na sua maioria provêm dos balneários (duches e sanitários) bem como da cantina, em que é utilizada água potável.

Efluentes pluviais: As águas pluviais oriundas do escoamento da precipitação nos solos e nos telhados são, na sua maioria, recetadas pelo meio hídrico natural. Excetuando-se, o caso das sarjetas localizadas em zonas consideradas de potencial risco de contaminação do solo e que estão conectadas à rede de esgotos industriais, nomeadamente as sarjetas situadas na zona da ETAR, no armazém de produtos químicos e nas zonas de armazenamento de resíduos (parque de resíduos).

2.4.2 Rede de coletores de esgotos industriais, esgotos domésticos e esgotos pluviais

A atual rede de esgotos da C.A.C.I.A. cobre toda a área da fábrica de acordo com o apresentado na planta geral da rede de esgotos na Figura 2.9 (na página 23), estando dividida em três redes distintas:

Rede de esgotos industriais que recolhe, por gravidade, todos os efluentes industriais produzidos nos diferentes pontos da fábrica e que termina numa fossa, onde sofrem uma primeira separação dos sólidos (limalhas e lamas), entrando de seguida no tanque de homogeneização da ETAR.

-Rede de esgotos domésticos que faz também a recepção gravítica de todos os efluentes domésticos provenientes dos sanitários e restauração, encaminhando para uma fossa que vai bombear posteriormente para uma vala de alimentação ao tanque biológico da ETAR.

-Rede de esgotos pluviais que após a recolha das águas pluviais nos solos e nos telhados, é conduzida para um riacho nas imediações da fábrica.

Todas as águas residuais, fabris e domésticas são tratadas na ETAR. Esta está em funcionamento desde a abertura da fábrica, e conta já com 31 anos de atividade ininterrupta, tendo sido dimensionada na altura, para uma população equivalente de 2000 habitantes e funcionando com um nível de tratamento secundário sem desinfecção.

O diagrama de funcionamento da ETAR é apresentado na Figura 2.10.

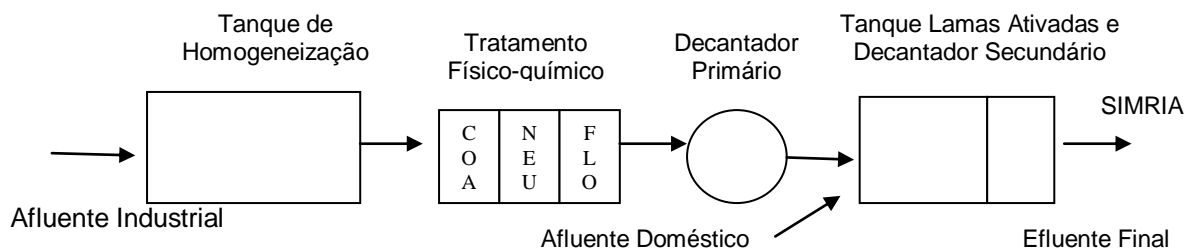


Figura 2.10 – Diagrama de funcionamento da ETAR da C.AC.I.A.

De forma a assegurar a conformidade regulamentar aplicável á descarga de efluentes líquidos, são efetuadas análises de controlo de qualidade ao efluente à saída de ETAR. Estas análises de controlo são realizadas por técnicos especializados e pertencentes a entidades acreditadas.

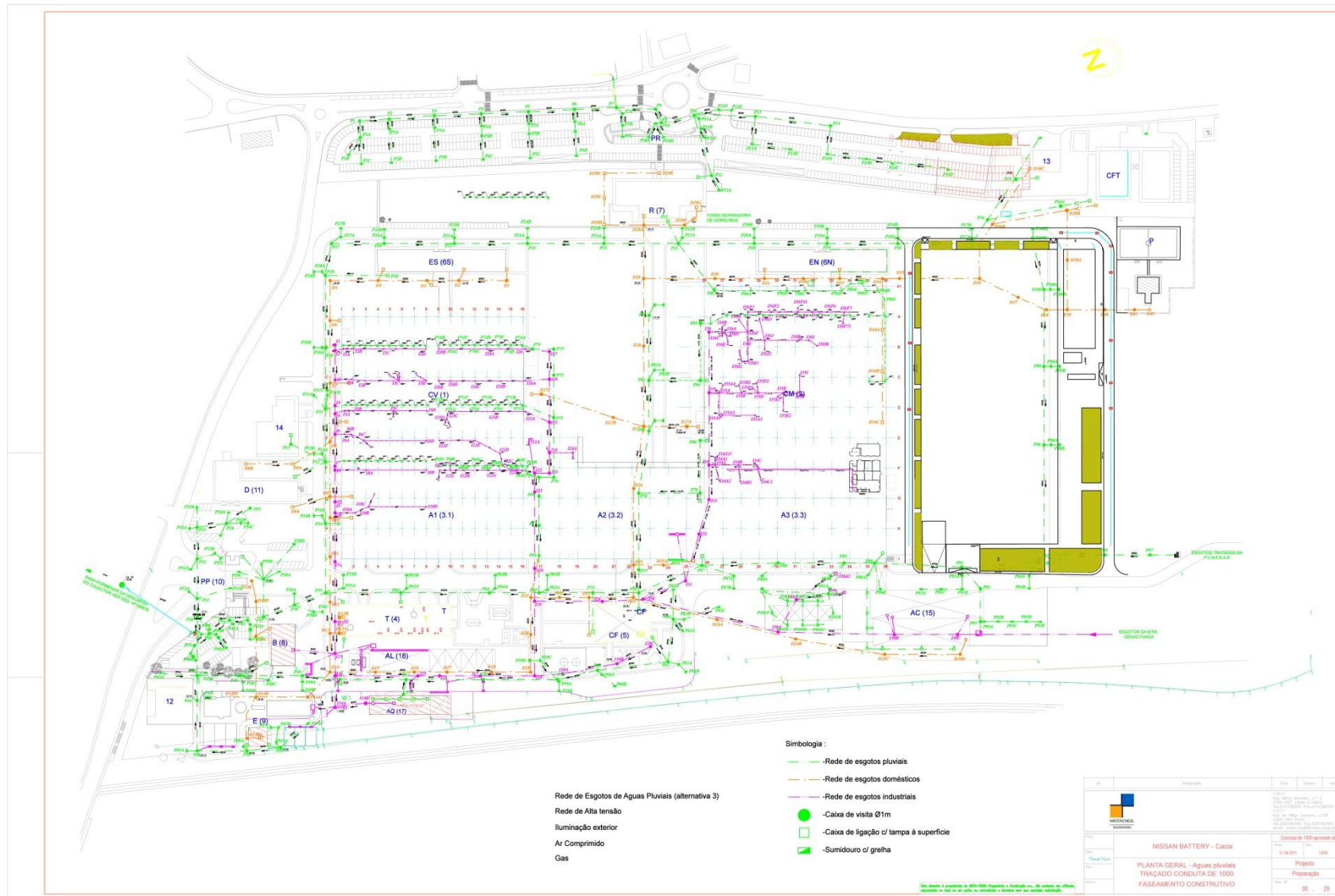


Figura 2.9 – Planta geral da rede de coletores de esgotos: industriais, domésticos e pluviais (Renault C.A.C.I.A.)

3 Descrição de atividades realizadas na RENAULT C.A.C.I.A.

No decorrer do estágio curricular foram também realizadas outras atividades relacionadas com a água. Embora não constando do plano de estágio projetado, por não estarem envolvidas diretamente na temática do reaproveitamento de efluentes industriais, foram desenvolvidas as seguintes tarefas:

Elaboração de documentação de controlo operacional:

Atualização e construção de raiz de várias Folhas de Operação Standard (FOS) referentes ao funcionamento da ETAR e do equipamento de desferrização. Estas folhas são elaboradas de forma simples e resumida, muitas vezes sob a forma de fluxogramas, descrevendo todas as etapas passo a passo: tempo de elaboração, cuidados a ter, casos de acidente, etc. Tendo como finalidade, o auxílio e consulta por parte dos operadores na execução das diversas ações, contribuem para a diminuição de erros de operação no funcionamento da ETAR e desferrizador, bem como de acidentes de trabalho.

Otimização da secagem de lamas na ETAR:

Realização de um caderno de encargos para a colocação de estufas como cobertura nos leitos de secagem das lamas industriais na ETAR, tendo como objetivos o aumento da eficiência e da velocidade no processo de desidratação das lamas, permitindo reduzir custos na recolha das lamas pela empresa de resíduos, reduzir a utilização do polímero de desidratação das lamas, bem como promover uma melhor gestão do atual sub dimensionamento dos leitos (verificado durante o Inverno).

Acompanhamento da otimização do sistema de tratamento da água captada:

Acompanhamento das alterações no sistema de desferrização de forma a aumentar o grau de oxidação de ferro na água captada dos furos, bem como a sua eliminação na torre de filtração, e respetiva monitorização durante todo o arranque. Estas alterações envolveram a adição em linha de um agente oxidante, bem como de um coagulante orgânico, a substituição do meio filtrante, de areia e antracite por um novo meio filtrante nas torres de oxidação e de filtração, bem como a mudança de frequência e tempos de lavagem. Esta ação de melhoria implicou também a lavagem integral dos três tanques de água (potável, industrial e incêndios), uma vez que os mesmos continham muito ferro oxidado, que poderia ser arrastado para a rede durante a fase de arranque.

Participação informativa e formativa:

Participação na organização da Semana do Ambiente 2012, contribuindo com a realização de brindes, panfletos informativos, posters e atualização de mapas e de fichas de segurança dos produtos químicos usados nos processos de fabricação. Acompanhamento de visitas de estudo á ETAR e torres de refrigeração, a grupos de formandos da C.A.C.I.A.

Acompanhamento na identificação e correção de disfuncionalidades observadas durante um simulacro de atuação ambiental. Foi simulado um derrame de óleos no solo e avaliada a reação do grupo de intervenção na contenção local deste e na salvaguarda da rede de esgotos pluviais, através do fecho manual de comportas nesta rede, e encaminhamento para a ETAR.

Monitorização preventiva da rede de esgotos:

Participação na monitorização dos troços mais problemáticos nas redes de esgotos industriais e domésticas, efetuada durante a paragem anual. Esta monitorização é feita com recurso à filmagem da rede utilizando um robot telecomandado, após a limpeza da tubagem em contra corrente. Com esta ação foi possível identificar várias anomalias como fissuras na tubagem que poderiam provocar fugas, e deformações que causavam recorrentes entupimentos. Foi também possível identificar troços que não constavam na planta da rede de esgotos ajudando assim á sua atualização.

Parte II – Desenvolvimento dos objetivos do estágio

4 Redução dos consumos de água

“A gestão da procura tem início através de um processo integrado de identificação e medição contínua das necessidades específicas de cada setor industrial. Esta informação gerida permanentemente permite um controle efetivo da procura individualizada e encaminha para a eliminação dos desperdícios operacionais e para a modernização dos processos. Uma vez controlada a procura, inicia-se a gestão da oferta, que consiste na substituição de fontes de abastecimento convencionais por fontes alternativas mais favoráveis economicamente e de proteção ambiental” (Hespanhol, 2007).

4.1 Introdução

A Figura 4.1 apresenta a evolução do consumo de água dos furos em contraponto á utilização de água da rede pública, apresentando esta valores residuais. Tendo como objetivo específico até 2016, uma redução de 30 % relativamente ao valor de 2010 no consumo anual de água, a Renault C.A.C.I.A. vem, desde algum tempo, implementando parcialmente um programa de otimização da utilização da água, através de uma série de ações como adequação de procedimentos e utilização de equipamentos/dispositivos mais eficientes (como proposto na medida 74. do PNUEA). Estas ações visam o controle e redução dos consumos de água, bem como dos volumes de águas residuais geradas. Contudo este programa não contempla, até ao momento, a adoção de sistemas de recirculação e/ou reutilização de águas de qualidade inferior.

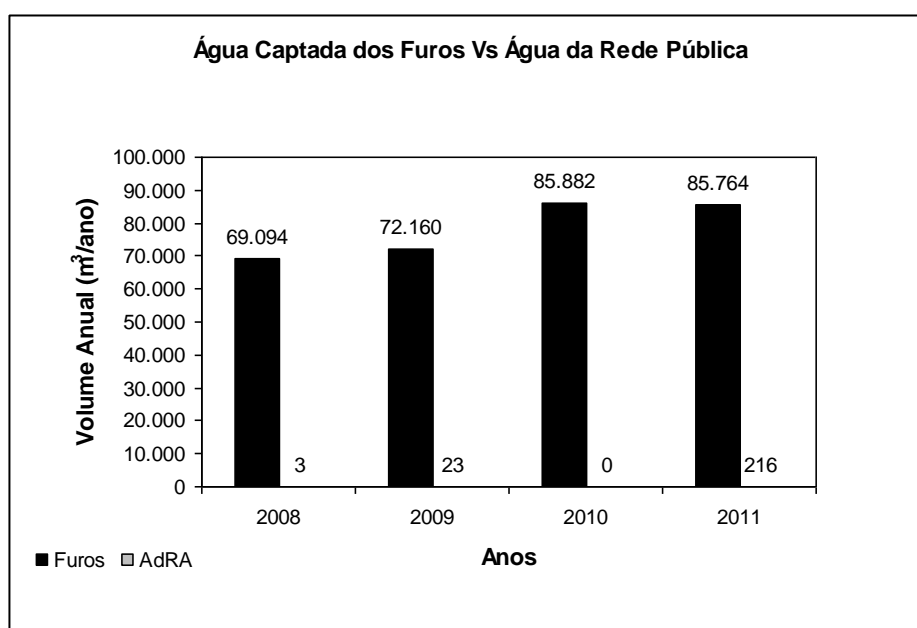


Figura 4.1 – Comparativo anual da água captada dos furos e água da rede pública.

Um programa de otimização da utilização da água numa indústria deve seguir e abranger as várias etapas contidas no fluxograma da Figura 4.2. A metodologia usada é adaptada do fluxograma para o desenvolvimento de um plano de conservação e reuso de água na indústria brasileira (Hespanhol, 2007) e esquematiza resumidamente várias das medidas aplicáveis ao uso industrial similares às propostas no PNUEA.

Para realização deste trabalho, foi necessário efetuar uma completa caracterização dos consumos e rejeições nas atividades e processos industriais. Este trabalho foi iniciado com uma análise de vários documentos contendo informações como: fluxogramas dos processos e plantas da fábrica; seguimento dos consumos de água gerais e por sector disponíveis até á data; características da produção industrial e dos diferentes efluentes gerados; a qualidade de água requerida nos diferentes processos; manuais e procedimentos operacionais; novos projetos de expansão industrial com repercussões no consumo da água e geração de efluentes (como o caso da fábrica de baterias elétricas que acabou por ser suspenso). Muita desta informação teve de ser confirmada e corrigida com a ajuda dos técnicos responsáveis de cada setor, visto encontrar-se desatualizada.

Após a análise dos vários documentos referidos, foi iniciado o levantamento de dados de forma a validar a informação documental ou complementar esta com dados adicionais. Estas visitas iniciaram-se com o acompanhamento dos responsáveis técnicos para identificação dos equipamentos e obtenção das condições operacionais específicas, como: caudais dos fluxos de entrada e saída, qualidade destes, períodos de funcionamento e destino dos efluentes.

Muitos destes efluentes, com diferentes origens, misturam-se na mesma rede de águas residuais, tendo sido necessário fazer a sua segregação e distinta caracterização quantitativa e qualitativa, no intuito de ser possível fazer uma real avaliação das suas potencialidades para fins de recirculação e/ou reutilização.

Na RENAULT C.A.C.I.A. o seguimento dos consumos mais gerais é feito e reportado diariamente pelos fogueiros prevencionistas no sistema de rede informática interna da fábrica, sendo o seguimento nas UET's feito pelos respetivos coordenadores, mensalmente e apenas em alguns casos diariamente. Devido á inexistência do seguimento de consumos em alguns pontos, foram feitas leituras dos contadores (caso existissem) durante um certo intervalo de tempo, sendo depois feitas estimativas para o espaço temporal pretendido.

Na ausência de contadores para alguns efluentes, em corrente contínua, a sua medição foi feita manualmente recorrendo ao uso de um cronómetro e recipientes volumétricos; no caso de efluentes com caudais descontínuos, recorreu-se a tinas de 1000L para medições diárias.

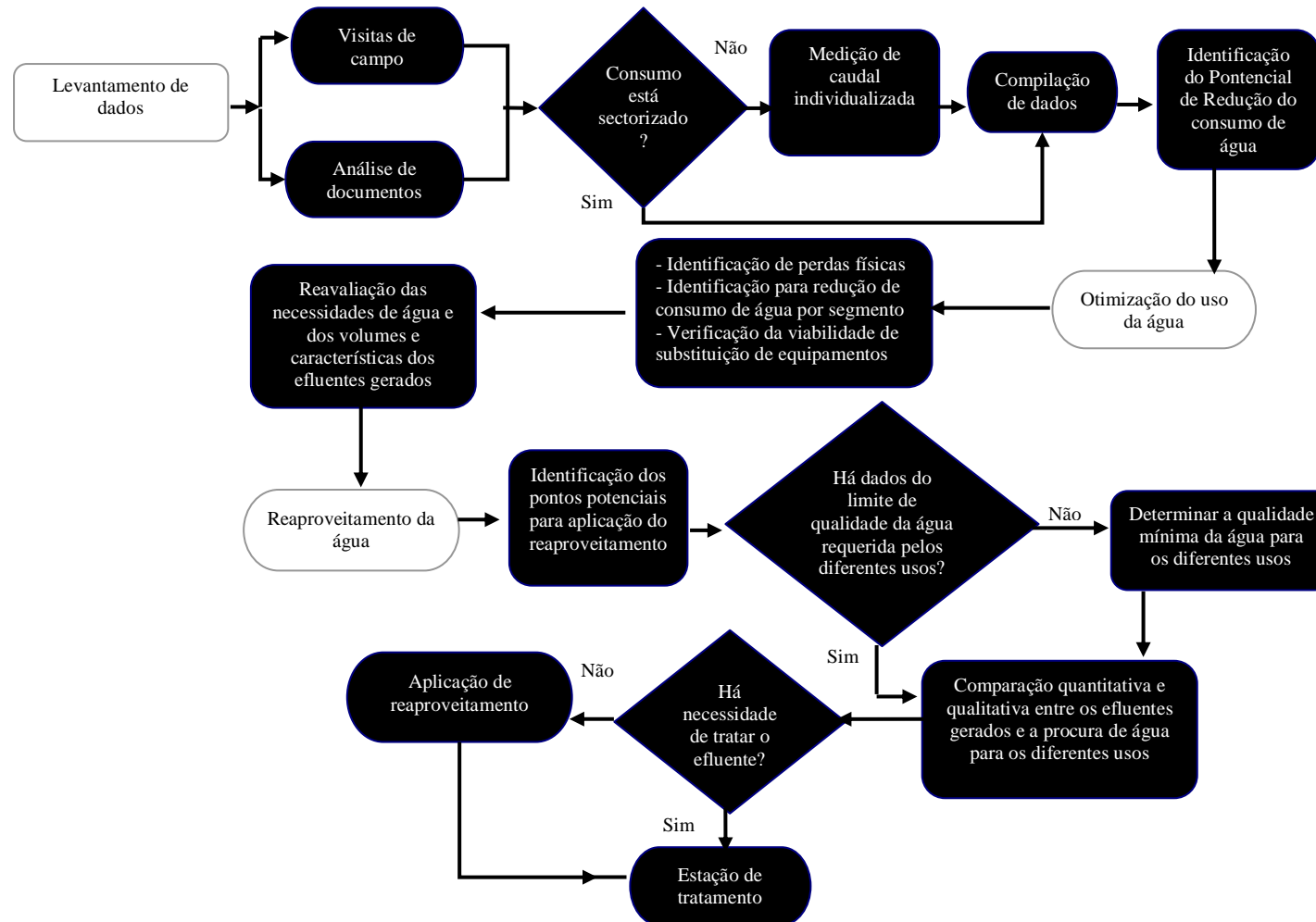


Figura 4.2 – Diagrama para desenvolvimento de um plano de conservação e reaproveitamento de água, adaptado de (Hespanhol, 2007).

4.1.1 Compilação dos dados

Após a reunião e organização de toda a informação disponível, foi possível fazer uma aproximada quantificação dos *Inputs* e *Outputs* de água na RENAULT C.A.C.I.A., sendo esta apresentada sob a forma de gráficos, tabelas e diagramas de blocos (contendo os fluxos hídricos desde o seu abastecimento até à sua rejeição final). Esta análise foi iniciada de uma forma generalizada, tanto a nível de categoria de uso como do espaço temporal, aumentando à posteriori o seu nível de detalhe.

A Figura 4.3 representa graficamente os consumos totais anuais, entre 2008 e 2011, das principais categorias de uso da água.

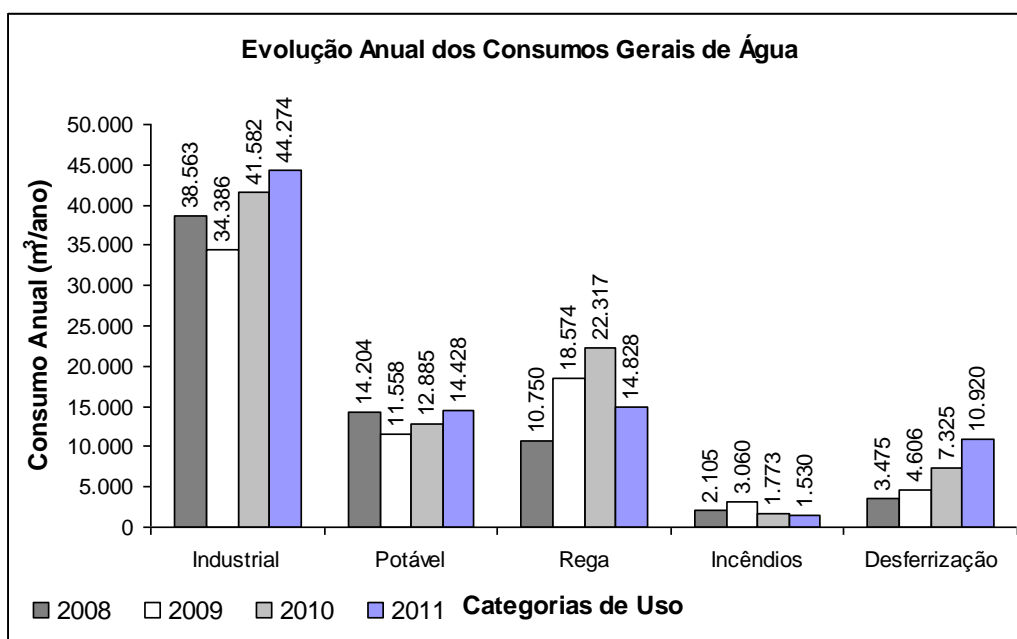


Figura 4.3 – Comparativo anual dos consumos gerais da água na fábrica.

Pode observar-se que cerca de metade do volume consumido se destina à produção fabril, verificando-se um aumento desde 2009. O segundo uso com maior volume de consumo corresponde à rega das zonas verdes, apresentando contudo uma grande variabilidade ao longo dos anos. Seguem-se os consumos para fins domésticos que têm aumentado, acompanhando o incremento do nº de colaboradores necessários à produção, como demonstra o Quadro 4.1. Também a água necessária ao processo de desferrização da água captada acompanha, proporcionalmente, os aumentos anteriores. Por último verificou-se um decréscimo do consumo na rede de incêndios devido a um maior controlo de fugas e incorretas utilizações desta rede.

Quadro 4.1 – Evolução do nº de colaboradores.

Ano	Número de colaboradores
2009	997
2010	1117
2011	1104

A tendência no aumento da produção, que por consequente eleva os consumos industriais, domésticos e no processo de desferrização, para além de aumentar os efluentes rejeitados para o exterior, reduz também a disponibilidade de água para a rega dos espaços verdes. Exemplo desta insuficiência verificou-se durante o ano de 2011, em que apesar da ocorrência de uma considerável precipitação durante os meses mais quentes, foi necessário desativar frequentemente a rega automática devido às prioridades de gestão diária da água, como foi descrito por responsáveis pelo património da fábrica.

Da análise da Figura 4.4, com base nos dados em anexo (Quadro I.2), pode concluir-se que os consumos de água potável, para incêndios e para o processo de desferrização apresentam pouca variabilidade ao longo dos anos e dos doze meses. Por sua vez, os consumos de rega apresentam uma enorme dispersão de valores, provocada pelos diversos fatores meteorológicos sazonais. Quanto aos consumos industriais registam alguma variação, que se devem às oscilações do volume de produção.

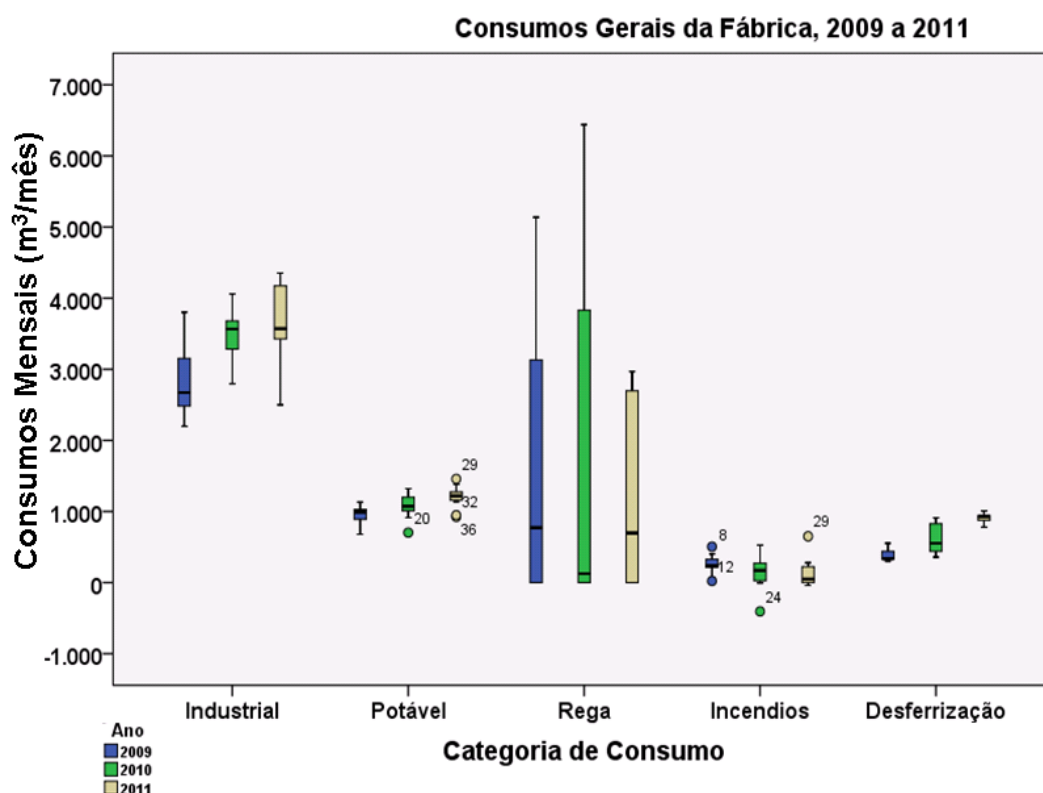


Figura 4.4 – Dispersão dos consumos mensais

Com recurso à Figura 4.5 pode verificar-se que ao longo do ano de 2011 ocorreu uma variação sazonal do consumo total da fábrica, incrementada principalmente pelo início da rega em Abril que se estende até Outubro, com picos de consumo em Junho, Julho e Agosto.

Ao nível do consumo da água industrial e potável existe pouca variabilidade ao longo do ano, registando-se apenas decréscimos pontuais durante os meses de Julho e Agosto, aquando da paragem de Verão e em Dezembro durante a paragem de Natal. Esta análise é representativa da normal variação dos consumos gerais ao longo do ano em 2009 e 2010.

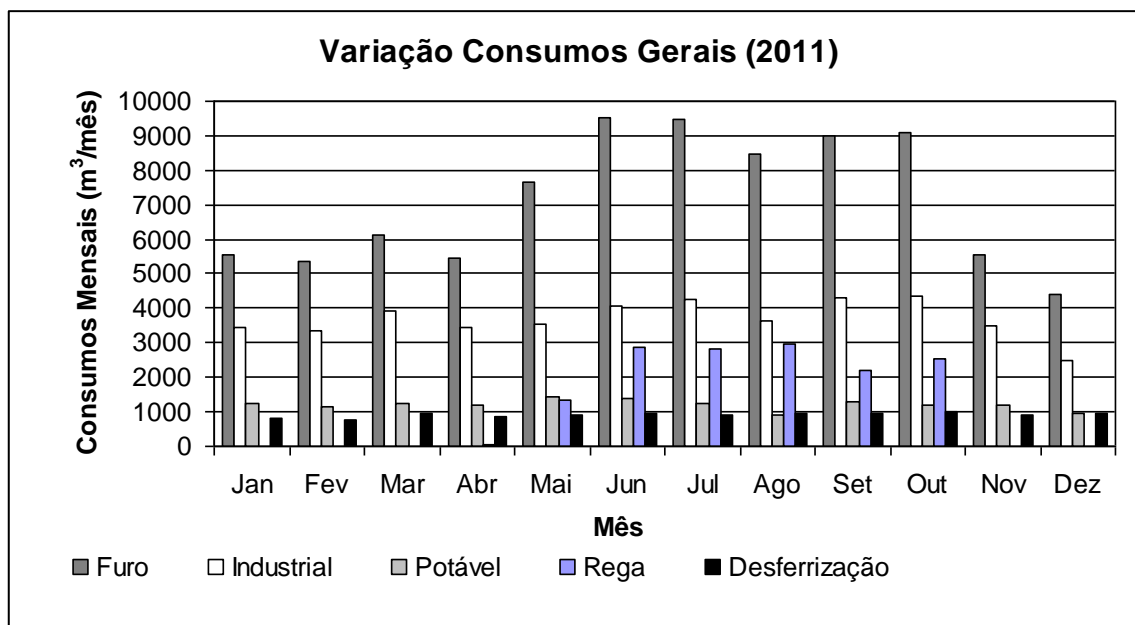


Figura 4.5 – Variação anual dos consumos gerais da água na fábrica.

Para identificar de uma forma abrangente os diversos pontos críticos de consumo de água e descarga de águas residuais na fábrica foi elaborado um diagrama de blocos, esquematizado na Figura 4.6, contendo um balanço hídrico por sector. Com o aumento do nível de detalhe é facilitada a compreensão do esquema completo de utilizações, o que leva a uma melhor identificação e avaliação das medidas de otimização implementadas e dos pontos de reaproveitamento da água.

O balanço hídrico esquematizado na Figura 4.6 resulta da compilação de consumos e rejeições referentes ao ano de 2011, sendo a maior parte obtida dos diversos consumos obtidos pelas contagens efetuadas pelos fogueiros e demais responsáveis de secção. Estes valores encontram-se no esquema acompanhados por um “C” (de contador).

Todos os outros valores resultam de estimativas aproximadas, construídas com a ajuda dos diversos técnicos responsáveis, tendo em alguns casos sido aplicadas estimativas percentuais de forma a obter um *layout* completo do balanço hídrico da RENAULT C.A.C.I.A.

Alguns destes pontos apresentam informações adicionais como: licença mensal de captação, capacidade máxima de produção e volume dos reservatórios.

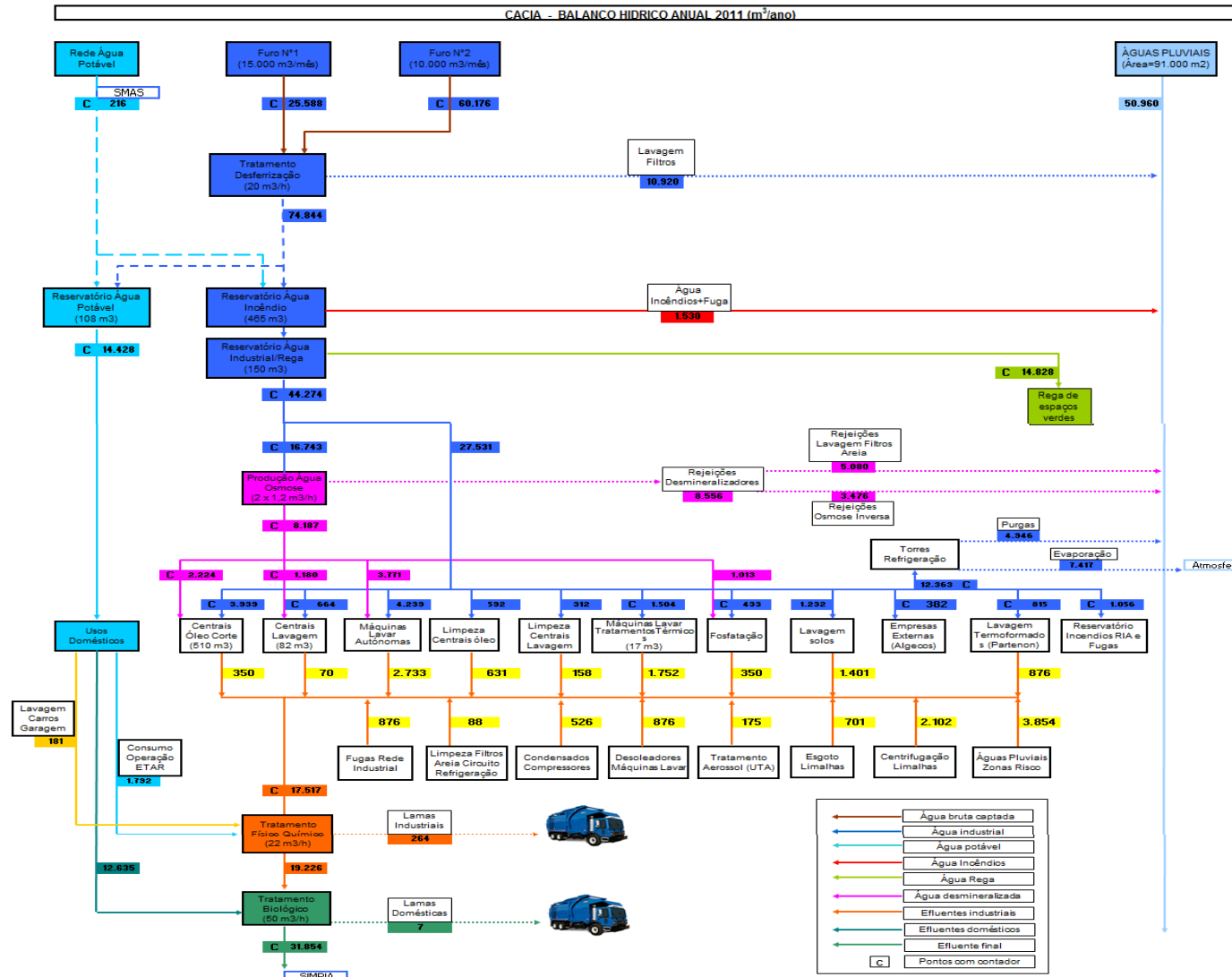


Figura 4.6 – Balanço hídrico na unidade fabril em 2011.

4.1.2 Otimização do uso da água

Para uma melhor gestão da água, a Renault C.A.C.I.A. como já anteriormente referido, vem desde algum tempo a desenvolver diversas ações no sentido de otimizar os seus consumos, quer ao nível da adequação de procedimentos, quer ao nível da utilização de sistemas tecnológicos mais eficientes.

Todas estas ações enquadram-se no variado rol de medidas aplicáveis ao uso industrial e ao uso urbano do PNUEA.

Destas ações já desenvolvidas podem-se enumerar algumas como:

- Utilização da água desmineralizada que possibilitou o não vazamento total das centrais nos períodos de paragem;
- Instalação de contadores nas duas centrais de osmose inversa e sua monitorização;
- Otimização do sistema de desmineralização;
- Utilização de uma centrifugadora para as centrais de filtração dos *carters*;
- Instalação de dez contadores na rede de água industrial para contagens parciais;
- Instalação de redutores de água potável nas torneiras e chuveiros;
- Adaptação dos sistemas de descarga dos urinóis;
- Ações do “Grupo Máquinas de Lavar”;
- Contagem da água consumida por UET;
- Gradual adoção e substituição de equipamentos e dispositivos de corte e lavagem mais eficientes;

Outro tipo de ações centrou-se na adequação de procedimentos por parte dos utilizadores diretos, através da realização de sessões de sensibilização e formação, de forma a haver um envolvimento progressivo de todos os colaboradores, como é focado na medida 73. do PNUEA.

A partir da análise de dados cada vez mais individualizados, pode ser avaliado por comparação de períodos homólogos ou por meio de balanços hídricos, se um elevado consumo de água está relacionado com hipotéticas fugas ou desperdícios, e se determinada ação implementada está a surtir efeito ou não (Hespanhol, 2007).

Durante o estágio, foi feita uma busca dos variados consumos setoriais em défice com o intuito de identificar pontos críticos para aplicação de novos contadores parciais. Desta análise foram identificados vários pontos para instalação de contadores, na sua maioria na rede de água potável como: balneários, casas de banho, garagem, operações da ETAR e “zonas de despejo” (para lavagem dos solos).

Como referido no PNUEA (medida 75.), as inspeções periódicas às diferentes redes de abastecimento são bastante importantes na identificação de fugas, que podem resultar de: idade avançada da rede; tipo de construção e materiais; elevadas pressões em linhas de distribuição; más práticas de operação e de manutenção (Baptista, 2001).

Neste âmbito foi feita, durante o estágio, uma verificação visual de toda a rede industrial para deteção de fugas e localização de picagens recentes para dar resposta a alguns consumos injustificados e posterior atualização na planta da rede industrial.

4.1.3 Reaproveitamento dos efluentes

O reaproveitamento de efluentes nas indústrias propicia elevados benefícios ambientais, na medida em que permite que um maior volume de água permaneça disponível para outros usos considerados mais nobres, bem como, uma redução da descarga de efluentes nos meios hídricos (Monte & Albuquerque, 2010).

Como foi referido anteriormente, a “etapa” de avaliação do potencial de reaproveitamento deve proceder sempre a implementação de todas as ações de otimização contidas na gestão da procura, uma vez que estas podem influenciar quantitativamente e qualitativamente os efluentes produzidos, comprometendo assim todo o sistema de reaproveitamento desenvolvido até ao momento (Hespanhol, 2007).

Na Figura 4.7 estão esquematizadas possíveis formas de reaproveitamento de água na indústria, que passam desde o não aproveitamento de efluentes industriais, até á reutilização e reciclagem.

Em processos de reaproveitamento de água é importante compreender a terminologia utilizada na área da reutilização, recuperação e reciclagem da água (T. Asano et al., 2007):

- Água reutilizada, compreende-se como a água que é utilizada uma ou várias vezes dentro da unidade industrial, sem sofrer previamente qualquer tratamento;
- Água recuperada, entende-se como água que é reaproveitada, passando por um tratamento parcial e que posteriormente é utilizada em processos diferentes, sendo o índice de qualidade menos exigente;
- Água reciclada, é água que sofre tratamento, sendo depois utilizada no mesmo processo que a gerou.

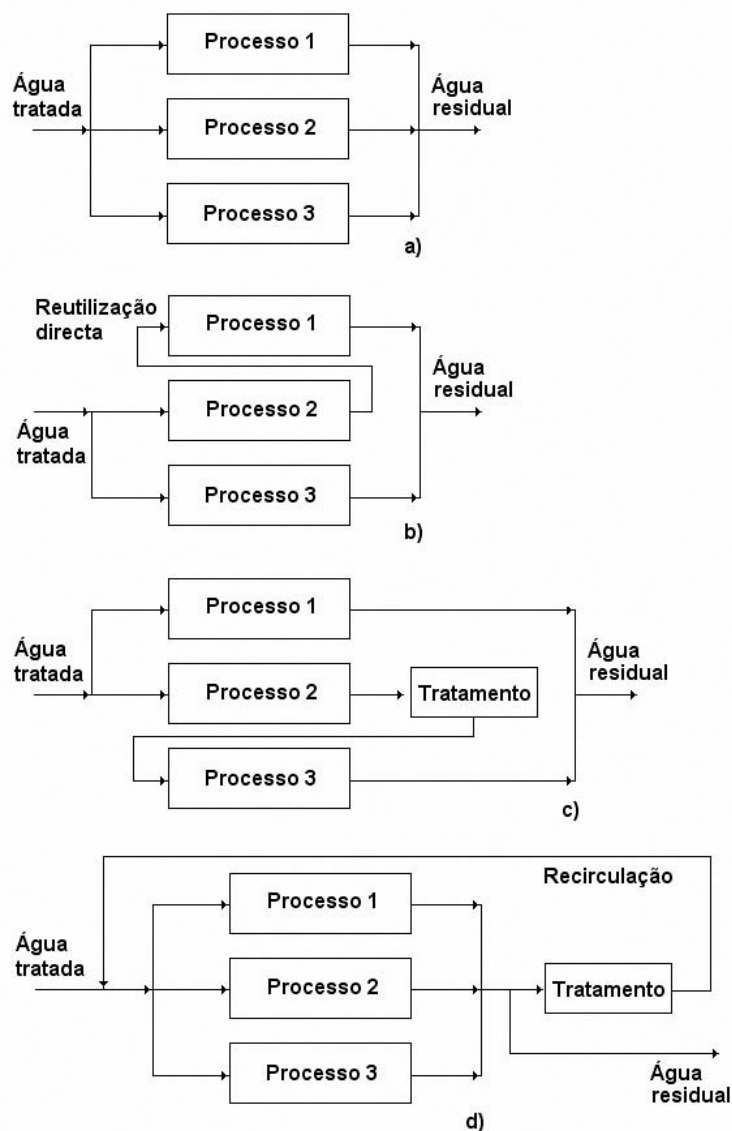


Figura 4.7 – Alternativas de reutilização da água na indústria: a) sem reutilização e sem reciclagem; b) com reutilização; c) com tratamento prévio á reutilização; d) com tratamento prévio á reciclagem; adaptada de (T. Asano et al., 2007).

Num contexto de reaproveitamento de efluentes, é fundamental compreender que os diferentes ramos da atividade industrial definem a quantidade e qualidade mínimas da água a ser utilizada no seu funcionamento. Dentro de uma mesma indústria podem ser utilizadas águas com diferentes níveis de qualidade, sendo a quantidade de água necessária a cada uso, definida pela capacidade de produção da indústria.

Do exposto, e face à realidade da RENAULT C.A.C.I.A. podem ser equacionados os seguintes cenários:

- reutilização de efluentes de outros processos no sistema de arrefecimento industrial;
- reutilização de águas residuais no sistema de aquecimento industrial (não entrou no balanço hídrico, desconhecendo-se as suas necessidades por não haver contagens antes de Dezembro de 2011);
- reutilização para outros fins do rejeitado do sistema de arrefecimento industrial (mais indicado no caso de sistemas abertos de arrefecimento, (medida 81. PNUEA));
- recarga de aquíferos (inviabilizada pela proximidade ao ponto de captação);
- recuperação de água residual tratada na ETAR em jardins e similares;
- aproveitamento de águas pluviais para o processo fabril (atesto das torres de refrigeração, produção de água desmineralizada para banhos e óleos de corte; lavagem de instalações (limitações devido á elevada variabilidade da pluviosidade);
- reutilização para outros fins da água dos condensados dos compressores; desde que não apresentem contaminações química, física ou biológica, (medida 83. PNUEA).

Pouco antes do início do estágio foi instalado um sistema de recolha e utilização das águas pluviais da cobertura do pavilhão dos motores, para produção de água desmineralizada. Devido á pouca pluviosidade ocorrida durante 2012 contabilizou-se um aproveitamento de cerca de 50 m³ nesse ano.

De igual modo encontrava-se também já instalado um sistema completo para o reaproveitamento dos efluentes resultantes da desmineralização como complemento à água de atesto no circuito de refrigeração, embora o sistema estivesse desativado devido a problemas operacionais identificados durante o seu funcionamento.

Os Quadros 4.2 e 4.4 são uma síntese dos consumos parciais e principais rejeições na Renault C.A.C.I.A. em 2011, que constam da Figura 4.6. acima apresentada. Tendo como referência estes valores e como meta até 2016 uma redução de 30% no consumo anual total da fábrica, que equivale a cerca de 26.000 m³, foram definidos dois cenários de aproveitamento: um cenário de reaproveitamento de pelo menos 50% do efluente da ETAR para rega de zonas ajardinadas (para sete meses de rega de Abril a Outubro) e um aproveitamento total do rejeitado da osmose inversa como complemento à água de atesto das torres de refrigeração. Estes cenários equivaleriam a uma redução de aproximadamente 19.500m³ dos 26.000m³ pretendidos nos consumos de água da fábrica, e proporcionalmente representaria o cumprimento em cerca de 75% do objetivo pretendido até 2016.

Tendo em atenção estes dados foi decidido que seriam estes dois cenários o objeto do estudo de viabilidade técnico-económico a desenvolver. Traduzindo-se os restantes 25% do objetivo em falta, na identificação de: novas medidas de otimização dos vários consumos, novos pontos de reaproveitamento e a aclaração dos “Outputs não identificados”, que representaram 7% em 2011 (Quadro 4.3).

Quadro 4.2 – Resumo quantitativo dos consumos sectoriais hídricos da fábrica em 2011.

Consumos de água Renault 2011			
Consumos Gerais (m3/ano)	Consumos Sector (m3/ano)		Valor percentual
Água Industrial: 44.274	Produção água desmineralizada:	16.743	19,5 %
	Atesto torres de refrigeração:	12.363	14,4 %
	Máquinas lavar autónomas:	4.239	4,9 %
	Centrais óleo de corte:	3.939	4,6 %
	Máquinas lavar Tratamentos Term.:	1.504	1,7 %
	Lavagem solos:	1.232	1,4 %
	Reservatório incêndios (RIA) e fugas:	1.056	1,2 %
	Lavagem termoformados (Partenon):	815	0,9 %
	Centrais de lavagem:	664	0,8 %
	Limpeza centrais de óleo:	592	0,7 %
	Fosfatação:	433	0,5 %
	Empresas Externas (Algecos)	382	0,4 %
Limpeza centrais lavagem:	312	0,4 %	
Água Potável: 14.428	Usos domésticos:	12.635	14,7 %
	Operação ETAR:	1.792	2,1 %
	Lavagem carros garagem:	181	0,2 %
Água Rega jardins: 14.828			17,2 %
Lavagem Filtros (desfer): 10.920			12,7 %
Água incêndios + fugas: 1.530			1,8 %
Total anual de água consumida na fábrica		85.980	100 %

Quadro 4.3 – Resumo quantitativo dos Outputs na fábrica em 2011.

Outputs Renault 2011		
Pontos	Volume (m3/ano)	Valor percentual
Etar (SIMRIA)	31.854	37 %
Rejeições Rede Pluvial	24.422	28 %
Rega	14.828	17 %
Evaporação	7.417	9 %
Água Rede Incêndios + Fugas	1.530	2 %
	Sub -Total:	(a): 80.051
Total Inputs:	(b): 85.980	100 %
	Outputs não identificados	(a) – (b): 5.929
		7 %

Quadro 4.4 – Resumo quantitativo sectorial dos efluentes finais da fábrica em 2011.

Principais rejeições de efluentes Renault 2011		
Pontos de Rejeição	Rejeições (m3/ano)	Valor percentual
Etar	31.854	56,6 %
Lavagem filtros de areia + Torres de Oxidação (desferrização)	10.920	19,4 %
Lavagem filtros de areia + Regeneração Descalcificadores (desmineralização)	5.080	9,0 %
Rejeição Osmose Inversa	3.476	6,2 %
Purgas Torres de Arrefecimento	4.946	8,8 %
Total Rejeição:	56.276	100 %

4.2 Reutilização do rejeitado da osmose inversa no atesto das torres de refrigeração

4.2.1 Rejeitado da Osmose Inversa (oferta):

O processo de desmineralização permite remover grande parte dos sais minerais contidos na água, tornando-a mais pura e melhor para a formação das emulsões de óleo de corte, no processo de fosfatação, bem como na formação dos banhos de lavagem. Neste caso a dureza da água industrial devido ao elevado teor em cálcio torna mais difícil a dissolução dos detergentes.

A produção de água desmineralizada, necessária à produção, está assegurada por duas instalações de desmineralização, designadas anteriormente por caixas e motores.

O processo, esquematizado na Figura I.4 (em anexo), de cada uma destas instalações é composto por:

- dois filtros de areia á entrada da instalação, de forma a ser feito um pré-tratamento de remoção dos sólidos em suspensão presentes na água bruta, gerando-se consequentemente um efluente que resulta da lavagem do meio filtrante quando este se encontra colmatado por uma quantidade excessiva das partículas mais grosseiras;
- uma filtração composta por dois filtros de porosidade 10 µm, para remoção de sólidos suspensos de dimensões inferiores e que resulta na formação de um efluente fruto das lavagens periódicas necessárias;
- duas colunas de permuta iónica ou descalcificadores para procederem ao amaciamento da água através da remoção dos iões Ca^{2+} por troca com os iões Na^{+} contidos nas resinas catiónicas. Quando estas perdem a capacidade de permuta, devido á sua saturação, é necessária a sua regeneração através de uma pré-lavagem com água bruta e posterior contacto com uma solução de Salmoura, que através da

sua passagem retira os iões Ca^{2+} retidos nas resinas, substituindo por iões Na^+ . Deste processo de regeneração resulta um efluente, do qual será analisado o seu potencial de reaproveitamento mais á frente;

- dois filtros de carvão activado, para remoção do cloro residual e de matéria orgânica;
- uma microfiltração composta por duas membranas com $1\ \mu\text{m}$ de porosidade cada, com a finalidade de remover sólidos em suspensão fina e coloidal, turvação, protozoários, e alguns vírus e bactérias, prolongando assim a vida útil e a eficiência da OI (osmose inversa);
- uma desinfecção por ultravioleta, afim de aumentar a eficiência do processo de OI por redução de colmatação das membranas por eliminação de microrganismos;
- um sistema de osmose inversa, tanto para redução do teor de sais dissolvidos na água industrial (devido às características salinas da água captada efeito da proximidade ao litoral), bem como para remoção da alguma dureza remanescente da permuta iónica.

Como demonstra a Figura 4.8, o processo de osmose inversa consiste na passagem da água bruta através de uma membrana com porosidade que pode variar entre $0,0001$ e $0,001\ \mu\text{m}$, sujeita a uma pressão (entre 10 a 100 bar) contrária à pressão osmótica, provocando a difusão de moléculas de água através da membrana da solução menos concentrada para a solução mais concentrada (Monte & Albuquerque, 2010) de forma que os solutos fiquem retidos na membrana, formando um concentrado (água rejeitada) e apenas ocorra a passagem do solvente (água permeada), sendo necessárias lavagens periódicas das membranas aquando da sua saturação.

Nesta instalação, uma pequena parte do rejeitado sofre recirculação.

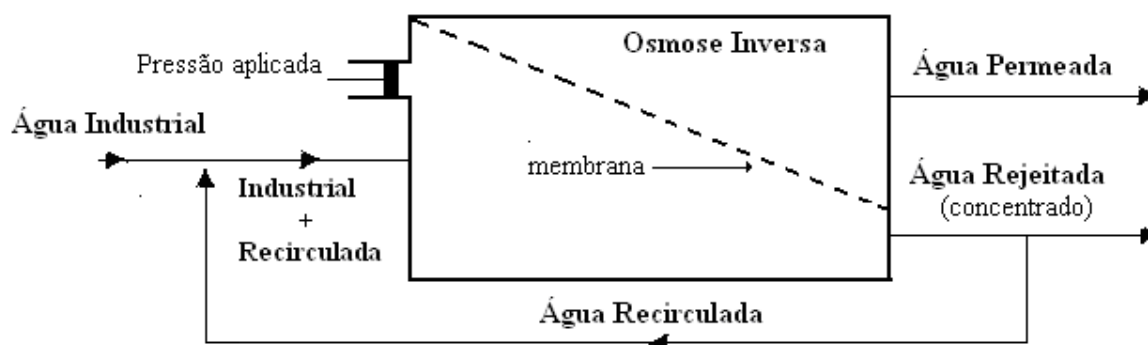


Figura 4.8 – Esquema do processo de Osmose Inversa na fábrica.

O destino final deste concentrado, aquando do período de estágio, era a descarga na rede de águas pluviais.

Com o intuito de analisar também o potencial reaproveitamento dos efluentes resultantes do processo de amaciamento, foi feita uma amostragem pontual e respetivas análises laboratoriais (com o auxílio da empresa externa que acompanha e monitoriza o funcionamento das torres de refrigeração) dos efluentes resultantes na lavagem e regeneração das resinas em três dos quatro descalcificadores (um destes estava desativado por avaria). Devido á inexistência de contadores neste ponto, recorreu-se ao auxílio de

tinhas de 1000L para contabilizar o volume de efluente rejeitado a cada ciclo de lavagem/regeneração, bem como fazer a amostragem final da mistura.

Através dos dados do Quadro 4.5, pode observar-se que é um efluente que apresenta, em quase todos os parâmetros analisados, valores extremamente elevados o que dificulta a viabilidade do seu reaproveitamento, não sendo por este motivo definido como caso de interesse para este estudo.

Quadro 4.5 – Resultados das análises ao efluente dos descalcificadores e respetivo volume.

Parâmetros	Unidade	Descalcificador Esquerdo Cx. (29/05/2012)	Descalcificador Direito Cx. (31/05/2012)	Descalcificador Direito Motores (01/06/2012)
pH		6,7	6,8	6,7
Condutividade	µS/cm a 25°C	> 10.000	> 10.000	> 10.000
SDT	mg/L	> 10.000	> 10.000	> 10.000
Alcalinidade Total	mg/L CaCO ₃	284	88	86
Alcalinidade à Fenolftaleína	mg/L CaCO ₃	0	0	0
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	> 1.000	> 1.000	> 1.000
Dureza em Cálcio	mg/L CaCO ₃	> 1.000	> 1.000	> 1.000
Cloretos (Cl)	mg/L	> 1.000	> 1.000	> 1.000
Volume de efluente por regeneração (L)		380 - 390	340 - 350	360 - 370

4.2.2 Atesto ou “Make up” nas Torres de Refrigeração (procura):

A Figura 4.9 mostra apresentado o esquema de funcionamento do sistema de refrigeração. Durante o processo de arrefecimento, ocorrem perdas de água (no caso da Renault) na ordem dos 60% por evaporação (principal responsável pela descida da temperatura da água no circuito) e um valor residual por arrastamento (devido à ação do vento), provocando um aumento das concentrações de alguns sais na água de recirculação, até atingirem o seu limite de solubilidade. Assim é necessário purgar periodicamente alguma da água de circulação e conseqüentemente é necessário fazer atestos com água de reposição (industrial) no circuito. Estas purgas vão limitar o aumento das concentrações salinas e de outros constituintes na água do circuito, de forma a evitar danos nas tubagens e equipamentos, por ação de fenómenos como incrustações, corrosões, desenvolvimento de biofilmes e “*fouling*”. Outro mecanismo de prevenção de danos nos equipamentos é a existência de um pequeno filtro de areia, que remove os sólidos suspensos existentes na água de retorno. Esta água é filtrada parcialmente no tanque de recepção da água de retorno e encaminhada para o ramal de elevação de água das torres, sendo feitas lavagens manuais periódicas ao filtro segundo o definido nos procedimentos.

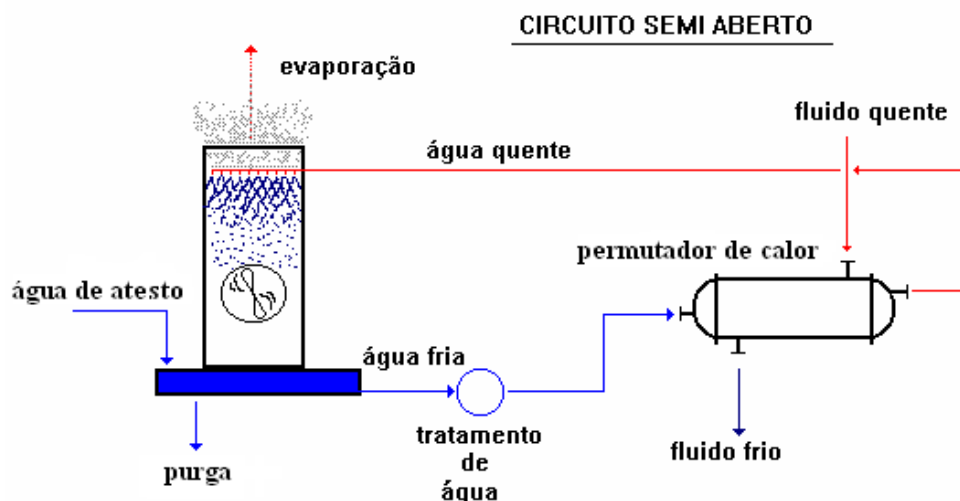


Figura 4.9 – Funcionamento de um sistema em circuito semi-aberto, com recirculação de água (adaptada de (Mancuso, 2001))

Os principais constituintes que afetam, na generalidade, a qualidade da água de circulação nos sistemas de arrefecimento industriais e os problemas que deles derivam são (Metcalf & Eddy, 2004):

- sílicas, carbonatos, sulfatos e fosfatos de cálcio e magnésio, que devido á sua precipitação e deposição nas superfícies em contacto com a água, podem formar incrustações, reduzindo o diâmetro das condutas, e assim a sua capacidade de transporte.
- elevados teores em SDT's (traduzidos em grandes valores de condutividade elétrica), devido á presença de sulfitos, sulfatos e cloretos. Sendo iões oxidativos, provocam corrosões metálicas em condutas e equipamentos metálicos, podendo este efeito ser agravado pela presença de oxigénio dissolvido, alcalinidade e variações do pH.
- oxigénio dissolvido, temperaturas elevadas, compostos orgânicos como azoto, fósforo e amoníaco podem promover o crescimento biológico de microorganismos e formação de biofilmes na tubagem, dificultando assim a circulação da água e potenciando os fenómenos de corrosão e potenciando também o risco para a saúde dos operadores (ex. *Legionella pneumophila*).
- depósito e fixação de sílicas, sólidos suspensos, biofilmes, produtos corrosivos e incrustantes inorgânicos que promovem o processo denominado de *Fouling*.

Os métodos de controlo destes fenómenos passam pela monitorização regular dos parâmetros associados a estes problemas e pela utilização de reagentes inibidores de corrosões (como cromatos de sódio e zinco, fosfatos de zinco e cálcio, nitratos de cálcio e potássio, tungstato de cálcio e magnésio), reagentes inibidores de incrustação (como polímeros ou sais de sódio, nitrilotriacetato (NTA) e o recurso a biocidas (como sais de amónio, hipóclorito de sódio e glutaraldeído) para eliminação de microorganismos formadores de biofilmes (Monte & Albuquerque, 2010).

De forma a prevenir todos estes fenómenos nas condutas e equipamentos acessórios do sistema de arrefecimento, existem vários requisitos de qualidade recomendados para a água

utilizada nos atestos de reposição (makeup) em sistemas de arrefecimento semi abertos, com recirculação de água.

O Quadro 4.6 sintetiza alguns dos requisitos de qualidade referidos na literatura, sendo os dois primeiros de origem norte-americana e o terceiro brasileira. Os limites recomendados pela *Water Pollution Control Federation* (WPCF) são idênticos aos da *National Academy of Science / National Academy of Engineering* (NAS/NAE), divergindo apenas no número de parâmetros com valores limite.

O terceiro grupo de requisitos provém do catálogo “Química Zew Produção e Equipamentos Ltda.”, sendo em alguns parâmetros, (cloretos, dureza total, alcalinidade total e ferro) mais restritivo que os dois primeiros.

Quadro 4.6 – Requisitos de qualidade de água recomendados para sistemas de arrefecimento semi-aberto, com recirculação de água.

Parâmetros	Unidade	Requisitos 1 recomendado WPCF (1989)	Requisitos 2 recomendado NAS/NAE (1972)	Requisitos 3 recomendado QZPE (1999)
Cloretos (Cl)	mg/L	500	500	200
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	500	800
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	650	650	200
Dureza em Cálcio	mg CaCO ₃ /L	-	-	-
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	350	350	100
pH		6,9 – 9,0	-	7,0 - 8,0
CQO	mg O ₂ /L	75	75	-
SST	mg/L	100	100	-
Turvação	UNT	50	-	50
CBO₅	mg O ₂ /L	25	-	25
Compostos Orgânicos^a	mg/L	1	1	-
Azoto Amoniacal (N-NH₄)	mg/L	1	-	-
Fosfatos (P-PO₄)	mg/L	4	-	-
Silica (SiO₂)	mg/L	50	50	50
Alumínio (Al)	mg/L	0,1	0,1	-
Ferro (Fe)	mg/L	0,5	0,5	1
Manganês (Mn)	mg/L	0,5	0,5	-
Cálcio (Ca)	mg/L	50	50	-
Magnésio (Mg)	mg/L	0,5	-	-
Bicarbonato (HCO₃)	mg/L	24	24	-
Sulfatos (SO₄)	mg/L	200	200	200
Condutividade	µS/cm a 25°C	-	-	1.000

Fontes: Requisitos 1 – Water Pollution Control Federation 1989 (EPA 1992); Requisitos 2 – National Academy of Science / National Academy of Engineering 1972 (Metcalf & Eddy, 2004); Requisitos 3 – Catálogo Química Zew Prod. e Equip. Ltda. 1999 (Mancuso & Manfredini).

Por outro lado o Quadro 4.7 apresenta a qualidade da água de refrigeração recomendada pelo fabricante da maioria dos equipamentos de compressão existentes na fábrica.

Quadro 4.7 – Qualidade de água recomendada compressores (Ingersoll-Rand)

Parâmetros	Unidade	Requisitos recomendados fabricante compressores
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	< 100
pH		6,9 – 8,5
SST	mg/L	< 50
Índice de Saturação Langelier (IL)		0,5 – 1,0

4.2.3 Metodologia utilizada

O atual sistema de reaproveitamento do rejeitado da osmose inversa, para atesto das torres de arrefecimento, foi desenvolvido num anterior projeto de reaproveitamento de alguns dos efluentes da desmineralização. Este sistema utilizava a mistura, recolhida num reservatório junto às torres, dos efluentes resultantes do amaciamento e da filtração por OI (concentrado e lavagem das membranas), como principal fonte de água de reposição ao circuito, e perfazendo o atesto, se necessário, com água da rede industrial.

Este modo de operação implicava variações significativas na qualidade da água de *makeup*, ocorrendo picos em vários parâmetros (SDT's, dureza, cloretos, condutividade, pH e alcalinidade), dependendo das disponibilidades de cada efluente no momento do atesto, e tornando os consumos de água de reposição e dos reagentes inibidores de corrosão e incrustação muito irregulares.

Em consequência o sistema, foi desativado e retomado o atesto da água do circuito de refrigeração apenas com recurso a água da rede industrial, procedendo-se também à segregação na drenagem dos dois fluxos de efluentes resultantes do amaciamento e da OI.

Neste contexto e considerando que:

“Quando o efluente gerado apresenta características próximas das necessárias para uma determinada aplicação, não sendo no entanto suficiente para possibilitar a sua reutilização, ou quando o seu caudal não corresponde às necessidades, a opção de reutilização parcial pode revelar-se como uma opção bastante viável” (Hespanhol, 2007).

Neste sentido foi decidido reformular o modo de atesto das torres conforme o exemplificado no esquema da Figura 4.10, recorrendo á mistura complementar do rejeitado dos dois sistemas de OI com a água da rede industrial, de forma a haver uma diluição do concentrado da OI, e assim serem obtidas as concentrações desejadas para os diversos parâmetros da mistura de atesto, em conformidade com os limites recomendadas pela literatura (Quadro 4.6).

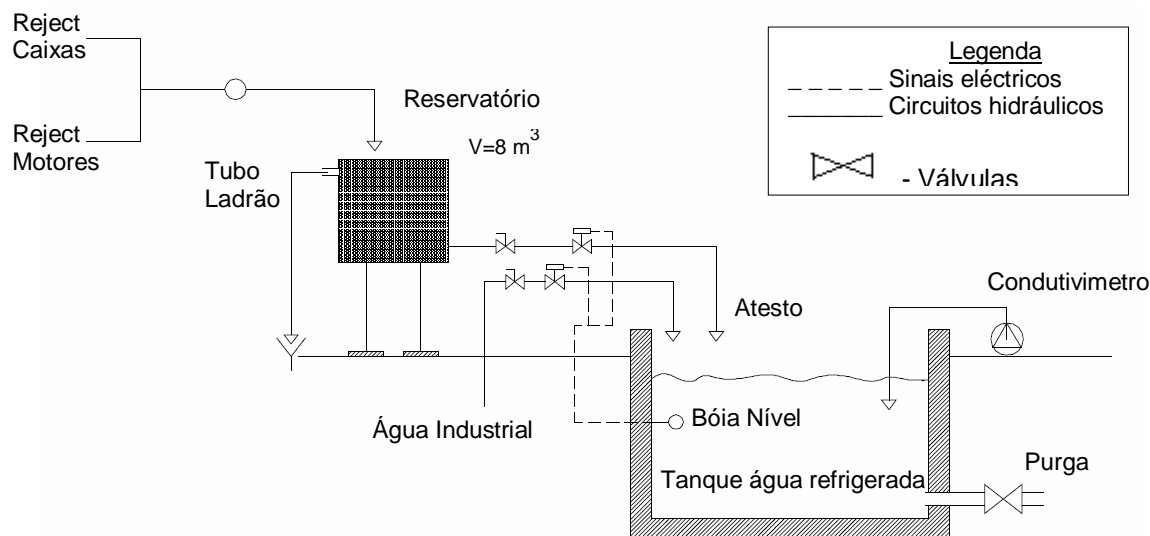


Figura 4.10 – Funcionamento do novo sistema de *makeup* ao circuito de refrigeração com reutilização do rejeitado da osmose inversa.

Para o desenvolvimento e implementação desta alternativa foram desenvolvidas as seguintes ações:

- O trabalho foi iniciado com a ativação do sistema de bombagem dos rejeitados para o reservatório, e a medição diária, durante aproximadamente dois meses, dos volumes da mistura que afluíam (sendo drenado o excesso pelo tubo ladrão para a rede de águas pluviais), de modo a ser determinada a disponibilidade volúmica média diária de rejeitado.
- Garantida a limpeza, estabilização/homogeneização da mistura no reservatório, procedeu-se à recolha de amostras pontuais bi-diárias (em horários aleatórios, consoante o diferente funcionamento da OI nos motores e caixas) durante seis dias e respetivas análises laboratoriais (com recurso á empresa externa que acompanha e monitoriza as torres), para caracterizar qualitativamente a mistura do rejeitado no reservatório de atesto.
- Foi determinada e avaliada a qualidade da água de atesto (industrial) do ano de 2012 e os consumos diários nos últimos anos, com recurso aos dados disponibilizados pela empresa responsável pela monitorização das torres, definindo-os como situação referênciã.
- Realização de balanços mássicos aos vários parâmetros da mistura, de forma a verificar a conformidade com os diferentes limites recomendados, para vários cenários de volume de atesto e com o aproveitamento total do rejeitado, assim como determinar a razão de mistura de atesto desejável para garantir o cumprimento dos limites recomendados.
- Avaliada a tendência corrosiva ou incrustante, através do cálculo do Índice de Saturação de Ryznar, dos variados cenários de atesto para diferentes ciclos de concentração.

- Definição e implementação das alterações físicas ao sistema existente de modo a serem testados os cenários anteriormente desenvolvidos.
- Operação e monitorização de um período experimental de aproximadamente dois meses, afim de determinar os *savings* diários de água fresca, em relação á situação referência, e conseqüente afinamento do sistema através de graduais alterações aos limites de abertura e fecho da purga.

4.2.4 Resultados e discussão

Neste subcapítulo são apresentados os resultados, e respectiva discussão, aos variados dados obtidos experimentalmente ou através da base de dados da fábrica, bem como todos os cálculos necessários à correta simulação sobre a reutilização do rejeitado da OI como complemento à água de reposição, para os variados cenários de atesto. Avaliação final sobre a efetiva poupança de água fresca após a activação do sistema por um período de dois meses.

Conforme descrito, e para avaliar o volume médio diário de rejeições O.I. disponível para atesto, foi efetuada uma campanha de medições diárias, durante os meses de Junho e Julho, á mistura que afluía ao reservatório de atesto. O Quadro 4.8 resume as leituras diárias efetuadas, observando-se que o caudal médio mede os 8,2 m³/dia.

Quadro 4.8 – Volume do rejeitado da O.I. no depósito de atesto ás torres de refrigeração

Volume diário mistura rejeitados O.I.	
Média diária (m³/dia)	8,2
Desvio padrão	2,6
Mínimo	4,2
Máximo	13,6

Recorrendo aos consumos no atesto das torres (resumido no Quadro 4.9), facultado pela empresa responsável pelo seu acompanhamento, foi possível determinar como volume médio diário de referência o valor de 35,7 m³/dia, sendo este valor arredondado para 36 m³/dia durante o cálculo dos balanços mássicos.

Quadro 4.9 – Consumo diário referência de água de atesto nas torres de refrigeração.

Consumos	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Médios diários (m³/dia)	37,8	43,3	36,0	33,2	36,3	31,3	33,8	34,0
Média (m³/dia)	35,7							
Desvio padrão	3,7							

O Quadro 4.10 apresenta os valores médios dos resultados obtidos s análises laboratoriais, para os diferentes parâmetros considerados, obtidas em onze amostras feitas á mistura do rejeitado de OI no depósito durante os dias 28, 29, 30, 31 de Maio, 4 e 5 de Abril de 2012, bem como os valores médios obtidos das análises de rotina feitas, pela empresa externa, á água de reposição (da rede industrial) nas torres durante o ano de 2012.

Optou-se por trabalhar apenas com o ano de 2012 para a água industrial, por considerar-se que representa as actuais características da água captada, interferindo esta diretamente com a qualidade da água rejeitada no processo de osmose inversa.

Em ambos os casos, as análises laboratoriais foram elaboradas e cedidas pela empresa exterior que acompanha as torres, não dispondo por isso das análises a todos os parâmetros que constam nos requisitos de qualidade de água recomendada pela literatura.

Através dos resultados apresentados no Quadro 4-10, pode observar-se que a mistura dos ROI, se por um lado apresenta valores elevados para alcalinidade total, cloretos, SDT's e consequentemente uma grande condutividade elétrica, por outro apresenta ausência de dureza devido á permuta iónica (descalcificação) aquando do processo de desmineralização.

Quadro 4.10 – Resultados das análises laboratoriais á mistura do R.O.I. e á água industrial.

Parâmetros	Unidade	Valores médios mistura dos R.O.I. no depósito	Desvio Padrão	Máx.	Min.	Valores médios água industrial para atesto	Desvio Padrão	Máx.	Min.
Cloretos (Cl)	mg/L	296,7	78,3	378	142	29,5	3,0	32	26
SDT	mg/L	1607,3	422,1	2100	730	374,3	37,9	426	342
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	<2		<2	<2	168,5	25,1	204	148
Dureza em Cálcio	mg CaCO ₃ /L	0	0	0	0	147,5	24,2	180	128
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	354,0	87,5	452	168	118,5	19,5	134	90
pH		7,7 – 8,4		8,4	7,7	7,7 – 8,0		8,0	7,7
Ferro (Fe)	mg/L	1,3	0,5	2,2	0,4	0,7	0,2	0,9	0,4
Condutividade	µS/cm a 25°C	2205,5	572,7	2760	960	492,5	49,9	560	450

Para verificação sobre a qualidade recomendada, pela literatura, para água de atesto foram feitos então balanços mássicos aos parâmetros disponíveis da mistura de atesto (ROI + Industrial), para cenários de atesto próximos da situação referência (36 m³/dia), mais concretamente 30, 40, 45 e 50 m³/dia e de acordo com a nomenclatura referida no Quadro 4.11.

Dispondo de um reservatório de atesto com um volume útil de 8 m³, foi considerado para cálculo dos balanços mássicos, um aproveitamento total do ROI médio determinado (8,2 m³/dia).

Quadro 4.11 – Tipos de cenários variáveis

	A: 30 m ³ /dia	B: 36 m ³ /dia	C: 40 m ³ /dia	D: 45 m ³ /dia	E: 50 m ³ /dia
Requisitos 1.	A.1	B.1	C.1	D.1	E.1
Requisitos 3.	A.3	B.3	C.3	D.3	E.3

Cenário **A.1** (atesto total diário de 30 m³/dia com reutilização total do ROI de 8,2 m³/dia e verificação da conformidade com o Requisito 1.), para cálculo do balanço mássico á alcalinidade total:

$$C_{\text{Atesto}} = C_{\text{Ind.}} + C_{\text{ROI}} = 30 \text{ m}^3/\text{dia} \Leftrightarrow C_{\text{Ind.}} = 30 - 8,2 = 21,8 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$C_{\text{Atesto}} \times [\text{Alc.}]_{\text{Atesto}} = (C_{\text{Ind.}} \times [\text{Alc.}]_{\text{Ind.}}) + (C_{\text{ROI}} \times [\text{Alc.}]_{\text{ROI}})$$

$$[\text{Alc.}]_{\text{Ind.}} = 118,5 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$[\text{Alc.}]_{\text{ROI}} = 354 \text{ mg CaCO}_3/\text{L} \quad \text{Logo o valor de } [\text{Alc.}]_{\text{Atesto}} \text{ é dada por:}$$

$$30 \times [\text{Alc.}]_{\text{Atesto}} = (21,8 \times 118,5) + (8,2 \times 354) \Leftrightarrow [\text{Alc.}]_{\text{Atesto}} = 182,87 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

Apesar dos Requisitos 1 e 2 serem os mais referidos na literatura, devido á sua similaridade optou-se por utilizar para verificação da conformidade, apenas os Requisitos 1 recomendados pela “Water Pollution Control Federation” e os Requisitos 3 recomendados pelo catálogo “Química Zew Produção e Equipamentos L_{tda}”.

Repetindo este exercício, em todos os outros cenários, para os parâmetros: dureza total, dureza em cálcio, SDT, cloretos, ferro total e condutividade. Para este último parâmetro é necessário converter os valores de condutividade eléctrica para teor de SDT's através da seguinte equação:

$$\text{SDT (mg/L)} \approx \text{CE (dS/m ou } \mu\text{mho/cm)} \times [0,55 - 0,77]$$

Onde,

SDT= são os sólidos dissolvidos totais (mg/L)

CE= é a condutividade eléctrica (1dS/m ou $\mu\text{mho/cm} = 1000 \text{ uS/cm}$)

[0,55 - 0,77] = fator de correlação considerado 0,64

O Quadro 4.12, compila todos os resultados calculados para vários cenários de atesto, com as diferentes razões mássicas entre água da rede industrial e ROI, bem como a verificação, parâmetro a parâmetro, em relação aos requisitos encontrados na literatura.

Pode observar-se que para o leque de cenários, com diferentes razões de mistura, próximos à situação de referência (36m³/dia) não existe nenhuma variação do estado de conformidade dos parâmetros analisados em relação aos requisitos 1 e 3.

Considera-se igualmente que os valores a vermelho não distam em muito dos requisitos da literatura, sendo que estes limites são valores orientadores para a qualidade da água de

atesto, dado que se fossem considerados valores imperativos, a própria água industrial, ultrapassaria o limite do requisito 3 em alcalinidade total (118,5 mg CaCO₃/L) e o requisito 1 em ferro total (0,7 mg/L).

Em relação ao pH, o intervalo de valores das análises do ROI e da água industrial também se enquadra quase na totalidade aos intervalos recomendados, não sendo este um problema pois pode ser corrigido na água do circuito por adição de corretores de pH como ácido sulfúrico, ácido clorídrico, etc.

Em relação aos limites recomendados para água de refrigeração, pelo fabricante dos compressores (Quadro 4.7), pode concluir-se que:

- ao nível da pH existe conformidade para os intervalos obtidos;
- para os SST's, apesar de não existirem análises a este parâmetro, pode-se considerar a sua ausência no que respeita á parte do ROI, devido a todos os pré-tratamentos (filtros de areias e microfiltração) de remoção de sólidos em suspensão que antecedem processo de desmineralização, pelo que o valor em SST de mistura será sempre inferior ao valor apresentado pela água industrial atualmente usada.
- em relação à dureza total a adição do ROI revela-se uma mais valia, na medida em que vai diluir os valores de dureza da água da rede industrial.

Quadro 4.12 – Verificação dos Requisitos 1 (WPCF) e 3 (QZPE) para vários cenários de mistura.

Parâmetros	Unidades	Requisitos 1 (WPCF)	A.1	B.1	C.1	D.1	E.1	Requisitos 3 (QZPE)	A.3	B.3	C.3	D.3	E.3
			30 m ³ /dia	36 m ³ /dia	40m ³ /dia	45m ³ /dia	50m ³ /dia		30 m ³ /dia	36 m ³ /dia	40m ³ /dia	45m ³ /dia	50m ³ /dia
			V _{Ind} =21,8 (73%) V _{ROI} =8,2 (27%)	V _{Ind} =27,8 (77%) V _{ROI} =8,2 (23%)	V _{Ind} =31,8 (79%) V _{ROI} =8,2 (21%)	V _{Ind} =36,8 (82%) V _{ROI} =8,2 (18%)	V _{Ind} =41,8 (84%) V _{ROI} =8,2 (16%)		V _{Ind} =21,8 (73%) V _{ROI} =8,2 (27%)	V _{Ind} =27,8 (77%) V _{ROI} =8,2 (23%)	V _{Ind} =31,8 (79%) V _{ROI} =8,2 (21%)	V _{Ind} =36,8 (82%) V _{ROI} =8,2 (18%)	V _{Ind} =41,8 (84%) V _{ROI} =8,2 (16%)
pH		6,9 - 9,0						7,0 - 8,0					
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	350	182,87	172,14	166,78	161,41	157,122	100	182,87	172,14	166,78	161,41	157,122
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	650	122,44	130,12	133,96	137,80	140,866	200	122,44	130,12	133,96	137,80	140,866
Dureza em cálcio	mg CaCO ₃ /L	-	107,18	113,90	117,26	120,62	123,31	-	107,18	113,90	117,26	120,62	123,31
SDT	mg/L	500	711,32	655,15	627,07	598,98	576,512	800	711,32	655,15	627,07	598,98	576,512
Condutividade	uS/cm e mg/L	-	0,61	0,56	0,54	0,514	0,494	1000 ≈ 0,64	0,61	0,56	0,54	0,514	0,494
Cloretos	mg/L	500	102,53	90,36	84,28	78,19	73,3208	200	102,53	90,36	84,28	78,19	73,3208
Ferro Total	mg/L	0,5	0,86	0,84	0,82	0,81	0,7984	1	0,86	0,84	0,82	0,81	0,7984

A relação entre a concentração de sais na água de purga e a concentração de sais na água de atesto é conhecida como ciclo de concentração (Metcalf & Eddy, 2004), sendo dado pela expressão:

$$\text{Ciclos de Concentração} = \frac{C_p}{C_a}$$

Em que,

C_p = concentração de sais na purga, mg/L; C_a = concentração de sais no atesto, mg/L

Com as concentrações de atesto obtidas para os diversos cenários (Quadro 4-12) foram simuladas as concentrações na água do circuito ao fim de variados ciclos de concentração, tendo sido testados os seguintes valores: 1,5; 2; 2,5 e 3.

A título de exemplo apresenta-se o cálculo dos SDT no circuito, para o cenário A, ao fim de 1,5 ciclos de concentração:

$$1,5 = \frac{C_p}{711,32} \Leftrightarrow C_p = 1067 \text{ mg/L}$$

Repetindo o cálculo para os outros cenários de atesto de 36, 40 e 45 m³/dia, e para os outros parâmetros: (dureza total, dureza em cálcio, cloretos e ferro total), foi construído o Quadro 4-13.

Existem na literatura vários métodos recomendados. Para avaliar a tendência corrosiva/incrustante de uma água, os métodos mais utilizados são o Índice de Saturação de Langelier (IL) e o de Índice de Estabilidade de Ryznar (IR), sendo este o mais usado em aplicações industriais (Metcalf & Eddy, 2004).

O Índice de Ryznar (IR) é dado pela seguinte expressão (Metcalf & Eddy, 2004):

$$\text{IR} = 2 \times \text{pHs} - \text{pH}$$

onde,

$\text{pH} =$ é o pH medido da amostra de água; $\text{pHs} =$ é o pH de saturação do carbonato de cálcio

Os valores de IR obtidos, são interpretados como água com tendência incrustante ou agressiva de acordo com a seguinte informação qualitativa:

- Fortemente Incrustante: $\text{IR} < 5,5$
- Formação de Incrustações: $5,5 < \text{IR} < 6,2$
- Neutro (sem problemas): $6,2 < \text{IR} < 6,8$
- Água agressiva (Corrosão): $6,8 < \text{IR} < 8,5$
- Extremamente Corrosiva: $\text{IR} > 8,5$

O valor para pHs pode ser obtido graficamente ou por cálculo analítico aproximado a partir da seguinte expressão simplificada (Rebola, 2004):

$$\text{pHs} = 9,3 + A + B - C - D$$

em que A, B, C e D dependem respectivamente do teor de sólidos dissolvidos totais (SDT), da temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) máxima do local onde os fenómenos de corrosão/incrustação podem ter lugar, do teor de cálcio (como CaCO_3) e da alcalinidade total (como CaCO_3) da água de refrigeração

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \frac{\text{Log}(\text{SDT}) - 1}{10} & \mathbf{B} &= -13,12 \times \text{Log}(T^{\circ}\text{C} + 273) + 34,55 \\ \mathbf{C} &= \text{Log}(\text{Ca}^{2+} \text{ como } \text{CaCO}_3) & \mathbf{D} &= \text{Log}(\text{alcalinidade como } \text{CaCO}_3) \end{aligned}$$

Utilizando o valor de IR, avaliou-se a tendência da água de circulação dos diversos cenários e para os diferentes ciclos de concentração, considerando as temperaturas de 35°C e 60°C (suposto intervalo de valores que a água de circulação deve atingir quando da passagem pelos compressores e demais equipamentos).

Para este cálculo decidiu fixar-se os valores do pH em 8 e da alcalinidade em 100 mg CaCO_3/L , devido à correção automática que é feita por adição de ácido sulfúrico, para controlo do fenómeno de incrustações, para além da adição de inibidores químicos (anti-incrustantes), que aumentam a solubilidade do CaCO_3 no fluxo do concentrado (Metcalf & Eddy, 2004).

Assim o cálculo do IR da água do circuito para temperatura de 35°C , no cenário A. (30 m^3/dia) e com um ciclo de concentração de 1,5 é dado pelo conjunto de equações:

[SDT= 1067 mg/L; $T=35^{\circ}\text{C}$; pH=8; dureza cálcica=160,8mg CaCO_3/L ; alcalinidade = 100mg CaCO_3/L]

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \frac{\text{Log}(1067) - 1}{10} = 0,21 & \mathbf{B} &= -13,12 \times \text{Log}(35 + 273) + 34,55 = 2,1 \\ \mathbf{C} &= \text{Log}(160,8) = 2,2 & \mathbf{D} &= \text{Log}(100) = 2 \end{aligned}$$

$$\mathbf{pHs} = 9,3 + 0,21 + 2,1 - 2,2 - 2 = 7,4 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{IR} = 2 \times \text{pHs} - \text{pH} = 2 \times 7,4 - 8 = 6,8$$

Repetindo este exercício, nos outros ciclos de concentração e para os outros cenários de atesto e com as temperaturas 35°C e 60°C , foram obtidos os resultados para o IR constantes no Quadro 4.13.

Através dos resultados obtidos pode concluir-se que a água do circuito, para temperaturas próximas de 35°C e em todos os cenários de atesto, se comporta como neutra, adquirindo um potencial incrustante á medida que se aumenta o número de ciclos de concentração.

Em relação a temperaturas próximas dos 60°C a água do circuito de refrigeração apresenta tendências para a formação de incrustações até dois ciclos de concentração, para todos os cenários de atesto, e revela um elevado potencial de formação de incrustações acima dos dois ciclos de concentração. Contudo é preciso ter em conta que estes resultados são válidos apenas devido à fixação do pH=8 e da alcalinidade total de 100 mg CaCO_3/L por adição de ácido sulfúrico.

Quadro 4.13 – Determinação do potencial corrosivo/incrustante para os vários cenários de atesto e diferentes ciclos de concentração.

Parâmetros	Unidades	Ciclos de Concentração (30 m3/dia)				Ciclos de Concentração (36 m3/dia)				Ciclos de Concentração (40m3/dia)				Ciclos de Concentração (45m3/dia)			
		1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3
pH		<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>
SDT	mg/L	1067,0	1422,6	1778,3	2134,0	982,7	1310,3	1637,9	1965,5	940,6	1254,1	1567,7	1881,2	898,5	1198,0	1497,5	1796,9
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	183,7	244,9	306,1	367,3	195,2	260,2	325,3	390,4	200,9	267,9	334,9	401,9	206,7	275,6	344,5	413,4
Dureza em Cálcio	mg CaCO ₃ /L	160,8	214,4	268,0	321,5	170,9	227,8	284,8	341,7	175,9	234,5	293,2	351,8	180,9	241,2	301,6	361,9
Cloretos	mg/l	153,8	205,1	256,3	307,6	135,5	180,7	225,9	271,1	126,4	168,6	210,7	252,8	117,3	156,4	195,5	234,6
Ferro Total	mg/l	1,3	1,7	2,2	2,6	1,3	1,7	2,1	2,5	1,2	1,6	2,1	2,5	1,2	1,6	2,0	2,4
Índice de Ryznar (35°C)		6,8	6,5	6,3	6,2	6,7	6,5	6,3	6,1	6,7	6,5	6,3	6,1	6,7	6,4	6,2	6,1
Índice de Ryznar (60°C)		5,8	5,5	5,4	5,2	5,7	5,5	5,3	5,1	5,7	5,5	5,3	5,1	5,7	5,4	5,3	5,1

Todas as alterações físicas ao novo sistema de atesto ficaram concluídas após o final do estágio em Julho, arrancando em Setembro um período experimental de aproximadamente dois meses, em que foram aferidos os *savings* diários de água fresca, em relação ao consumo referência de 36 m³/dia.

Os resultados apresentados no Quadro 4.14 foram cedidos à posteriori pela fábrica, e resultam de graduais alterações, feitas pelos responsáveis das torres, aos limites do condutivímetro que controla a abertura e o fecho da purga.

É de notar o facto do valor da média diária do ROI ter aumentado cerca de 4 m³ diários em relação aos 8,2 m³/dia contabilizados para o cálculo das simulações, possivelmente devido ao aumento da produção após o período de férias.

Com a subida do teor de sais minerais na água de reposição e com o condutivímetro a trabalhar no intervalo de 1400 uS/cm para a abertura e 1200 uS/cm para o fecho, foi induzido um aumento do número das purgas e consequente subida dos consumos de atesto, aumentando os consumos diários de água fresca (48,8 m³/dia) em relação ao consumo referência.

Com a alteração dos intervalos de operação, para 1600 uS/cm para a abertura e 1400 uS/cm para o fecho, os consumos de água industrial (36,3 m³/dia) reduziram, aproximando dos valores referência de partida. Contudo este resultado não era o objetivo e por isso procederam a uma segunda alteração para 1650 – 1450 uS/cm, resultando numa poupança diária de aproximadamente 8 m³ de água industrial em relação ao consumo referência de 36 m³/dia.

Com as alterações no *set point* do condutivímetro, é expectável que tenha ocorrido uma alteração nos ciclos de concentração do sistema, mas devido à inexistência de análises disponíveis não foi possível confirmar esta hipótese e avaliar o comportamento dos parâmetros associados aos fenómenos de corrosão e incrustação.

Quadro 4.14 – Determinação dos *savings* diários de água fresca durante o período experimental.

Observações	Volumes (m ³)		Nº dias	Média diária (m ³ /dia)	
	Industrial	Rejeitado		Industrial	Rejeitado
Desde o início do aproveitamento	Industrial	2060	52	Industrial	39,6
	Rejeitado	628		Rejeitado	12,1
	Consumo	2688		Consumo	51,7
Início aproveitamento: condutivímetro a 1200 – 1400 uS/cm	Industrial	1171	24	Industrial	48,8
	Rejeitado	305		Rejeitado	12,7
	Consumo	1476		Consumo	61,5
Após 1ª alteração: condutivímetro a 1400 – 1600 uS/cm	Industrial	472	13	Industrial	36,3
	Rejeitado	144		Rejeitado	11,1
	Consumo	616		Consumo	47,4
Após 2ª alteração: condutivímetro a 1450 – 1650 uS/cm	Industrial	417	15	Industrial	27,8
	Rejeitado	179		Rejeitado	11,9
	Consumo	596		Consumo	39,7

4.2.5 Conclusões e recomendações

Após a decisão de retomar a reutilização do ROI, através da mistura com água industrial para atesto das torres, foram definidas as seguintes premissas para o novo sistema:

- assegurar o fornecimento incondicional de água de reposição ao circuito, que foi colmatado através da utilização de um sistema automático secundário de segurança, com recurso a uma segunda bóia de nível mínima para atesto com água industrial;
- a salvaguarda dos equipamentos utilizadores de água do circuito de arrefecimento, principalmente os compressores, pelo seu grau de importância para o funcionamento da fábrica, em termos de incrustação e corrosão;
- a reutilização possível/limite do ROI para uma redução proporcional no consumo de água fresca, de forma a garantir o ponto anterior;

Tendo sempre como base estas condições, foram realizados os estudos prévios ao período experimental, e conclui-se que faz sentido reaproveitar o ROI, ou parte dele, pois vem reduzir consideravelmente um efluente que é descarregado no coletor de águas pluviais e por outro lado vem complementar o atesto às torres, podendo diminuir no limite em cerca de 30% o consumo de água fresca.

Com as análises ao ROI efetuadas observa-se que esta água é um bom complemento ao atesto, na medida em que não possui dureza (principal causa das incrustações), mas apresenta valores de SDT muito elevados (principal acelerador das corrosões metálicas).

Através das simulações feitas aos vários cenários conclui-se que para um intervalo entre 16% e 27% de ROI na mistura de atesto, existe conformidade em quase todos os parâmetros referidos na literatura encontrada.

Com a avaliação do potencial corrosivo ou incrustante da mistura, através do IR, podem-se registar até 3 ciclos de concentração para pontos com temperaturas de 35°C e até 2 ciclos de concentração para pontos sujeitos a temperaturas de 60°C.

O correto funcionamento das bombas doseadoras para adição de inibidores de corrosão, dispersantes e biocidas, na água de arrefecimento, é igualmente uma mais valia na mitigação das causas para a prevenção dos fenómenos problemáticos.

Recomenda-se um controlo apertado à qualidade da água de atesto e do circuito de arrefecimento de forma a reajustar, sempre que necessário, os limites de funcionamento do condutivímetro e por conseqüente controlar os ciclos de concentração. Esta afinação estará sempre no limite do paradoxo entre a qualidade mínima da água do circuito e a quantidade máxima de *savings* de água fresca.

4.3 Aproveitamento do efluente da ETAR para rega de espaços verdes

4.3.1 Efluente da ETAR (oferta)

Como já foi referido, desde o arranque da fábrica que a ETAR efetua o tratamento dos efluentes industriais e domésticos, funcionando com um nível de tratamento secundário sem desinfecção. A ETAR foi dimensionada, para as condições enunciadas no Quadro I.3 em Anexo.

Na Figura 4.11 está esquematizado o diagrama representativo do seu funcionamento.

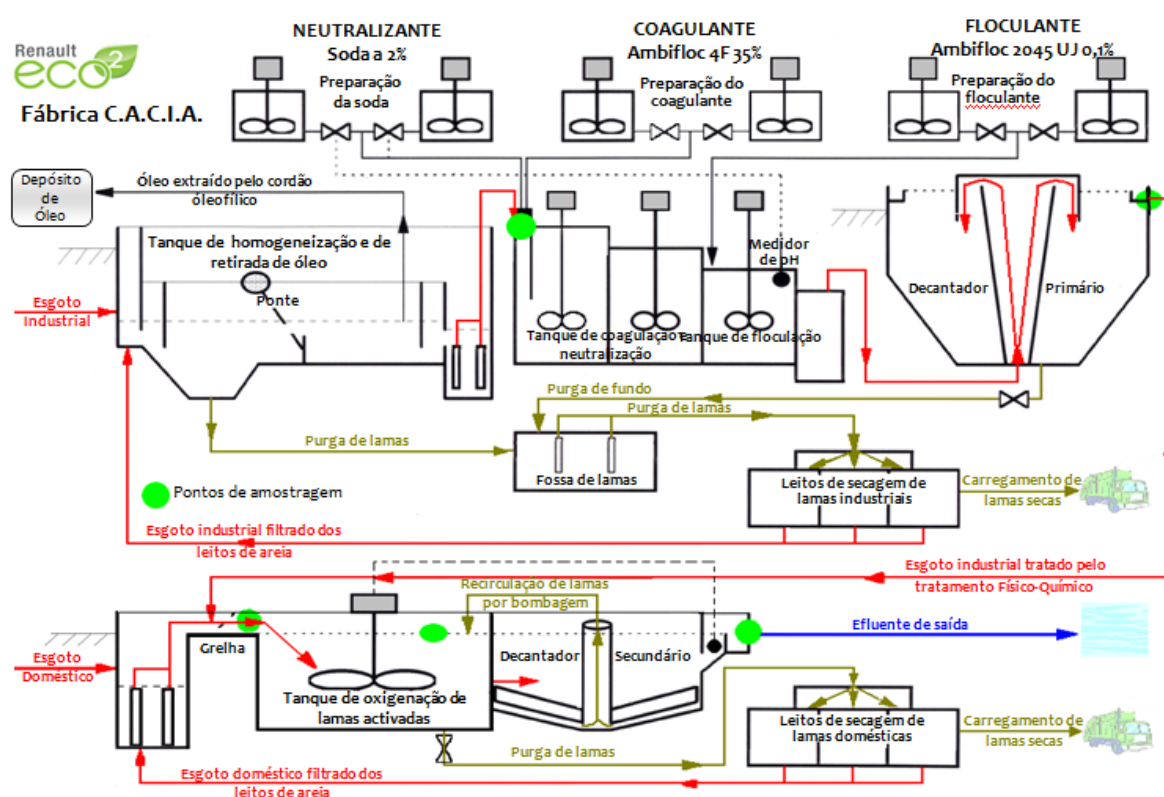


Figura 4.11 – Esquema completo sobre o funcionamento da ETAR. (RENALUT C.A.C.I.A.)

Os afluentes industriais são encaminhados para a ETAR, onde sofrem um pré-tratamento no tanque de homogeneização/desoleamento, seguindo-se um tratamento físico-químico (coagulação, neutralização e floculação), antes do decantador/clarificador primário, onde é feita a decantação das lamas do sobrenadante (estas lamas são acumuladas numa fossa, sendo posteriormente enviadas para um dos três leitos de secagem de lamas industriais). O sobrenadante é encaminhado para o tratamento biológico juntando-se ao afluente doméstico numa vala de alimentação ao tanque biológico.

O tratamento biológico é feito utilizando um tanque de lamas ativadas (do tipo “DIAPAC MA”), com arejamento e recirculação das lamas depositadas no fundo do decantador secundário (estabilização) para o tanque de arejamento, por ação de um sistema de bombagem de ar comprimido. Após a decantação, o efluente sobrenadante final (industrial

e doméstico), devidamente clarificado, é conduzido para o coletor de esgoto municipal sofrendo um tratamento posterior na ETAR Norte da SIMRIA.

As lamas decantadas em excesso são retiradas do tanque biológico para um dos três leitos de secagem de lamas domésticas, quando o seu teor é bastante elevado.

Para o controlo operacional ao longo de todo o processo de tratamento e de forma a assegurar a conformidade regulamentar aplicável á descarga dos efluentes líquidos, são efetuadas análises diárias de controlo pelo operador, a alguns parâmetros de acordo com o apresentado no Quadro 4.15. Adicionalmente são também feitas análises a todos os parâmetros especificados no contrato celebrado com a AdRA (Águas da Região de Aveiro) a partir de amostras compostas ao efluente, á saída da ETAR, sendo realizadas por técnicos especializados e pertencentes a entidades externas acreditadas.

Quadro 4.15 – Plano de monitorização e controlo analítico da Etar.

Actividade	Local de amostragem na ETAR	Frequência	Tipo de amostragem
Determinação do CQO ¹	Entrada F.Q. e saída ETAR	Diária	Pontual
	Saída F.Q. e Decantador 1º	Ocasional	
Determinação do pH	Entrada F.Q. e saída ETAR	Diária	Pontual
	Saída F.Q. e Decantador 1º	Ocasional	
Determinação dos SST ²	Saída da ETAR	Semanal	Pontual
	Tanque de lamas ativadas		
Determinação do IVL ³	Tanque de lamas ativadas	Semanal	Pontual
Análises aos parâmetros contratuais com a AdRA	Saída da ETAR	Duas vezes por ano	Composta

1- Carência Química de Oxigénio; 2- Sólidos Suspensos Totais; 3- Índice Volumétrico de Lamas

4.3.2 Rega dos espaços verdes (procura)

Atualmente as zonas verdes da C.A.C.I.A. Renault, somam uma área total de 60.532 m² sendo constituídas por algumas áreas relvadas, com o vulgarmente chamado gramão, bastantes zonas com erva, diversos tipos de árvores (principalmente ao longo das estradas internas), diversos arbustos ao longo de todo o perímetro da fábrica e floreiras concentradas sobretudo na zona da direção e entrada principal.

A rega é feita com recurso a água captada do furo 2, que é distribuída por uma rede própria a partir do reservatório industrial e que vai alimentar um sistema de rega totalmente automatizado, sendo efetuada na sua maioria pelo método de aspersão e uma pequena fração por rega gota-a-gota.

A Figura 4.12 mostra o *layout* completo da rede de rega, zonas relvadas e das plantas e árvores distribuídas por toda a fábrica.

No âmbito do reaproveitamento do efluente da ETAR para rega, foram adoptados como requisitos para a qualidade, os critérios e limites utilizados pela Norma Portuguesa 4423:2005.

Esta norma foi desenvolvida por indicação do Instituto Português da Qualidade (IPQ), e estabelece:

- os requisitos de qualidade das águas residuais urbanas tratadas a utilizar como água de rega;
- os critérios a seguir na escolha dos processos e equipamentos de rega a usar;
- os procedimentos a utilizar na execução das regas, de forma a proteger a saúde pública e o ambiente;
- os procedimentos de monitorização ambiental das zonas regadas com essa água residual.

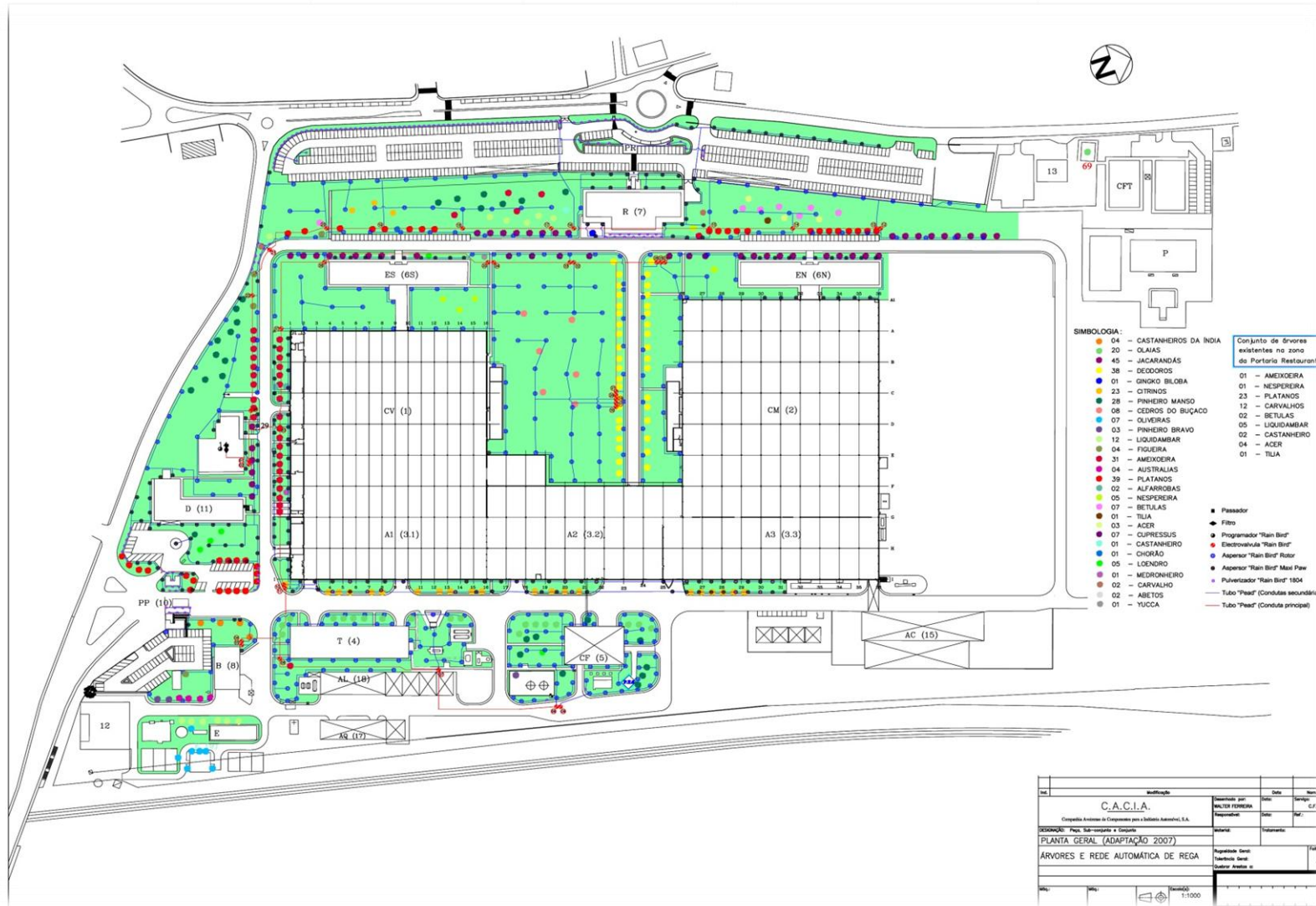


Figura 4.12 – Planta geral da rede de rega, zonas relvadas e plantas existentes. (RENAULT C.A.C.I.A.)

A Norma Portuguesa (NP) 4434:2005 é direcionada, exclusivamente, para a reutilização de águas residuais urbanas na rega de culturas agrícolas, florestais, ornamentais e outros espaços verdes (IPQ, 2006). Contudo, no caso específico desta ETAR visto receber grandes volumes diários de efluentes domésticos, poderá ser vista como uma ETAR “mista”, tendo sido considerado como aplicáveis os requisitos da NP 4434:2005.

Embora esta norma não tenha cariz legal, no que respeita aos requisitos de qualidade agronómica e microbiológica dos efluentes a utilizar para rega, adotou os mesmos critérios referidos no Anexo XVI do Decreto de Lei nº236/98, de 1 de Agosto, que de um modo geral, correspondem aos padrões indicados pela *Food and Agriculture Organization* (FAO).

O Quadro 4.16, apresenta um resumo dos parâmetros e limites de qualidade para os efluentes tratados, referidos nos documentos anteriores.

Quadro 4.16 – Valores de referência para os principais parâmetros de qualidade para efluentes tratados.

Parâmetros	Unidade	D.L. nº 236/98, 1 de Agosto		NP 4434
		VMR ⁽¹⁾	VMA ⁽²⁾	Requisitos ⁽³⁾
Nitratos (NO ₃)	mg/L	50	-	50
Salinidade: CE SDT	dS/m mg/L	1 640	-	1 640
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/L	60	-	20-60
pH	Escala Sorensen	6,5- 8,4	4,5-9,0	4,5-9,0
Coliformes fecais	UFC/100 mL	100	-	200
Ovos de parasitas intestinais	N/L	-	1	1
Fósforo Total (P)	mg/L	-	-	2-3
Turvação	UNT	-	-	10

(1) Valor máximo recomendado; (2) Valor máximo admissível; (3) Requisitos para espaços verdes de contacto direto com o público.

Os critérios de qualidade das águas residuais para rega paisagística e rega agrícola, principalmente em aspetos agronómicos, são idênticos (Monte & Albuquerque, 2010). No Quadro I.4 em Anexo, estão assinaladas as características das águas residuais que mais afetam o biosistema solo-planta.

Quando se considera a recuperação de efluentes para rega, a questão mais importante está relacionada com a proteção da saúde pública, pelo que é necessário garantir qualidade microbiológica aos efluentes tratados. Analisando o Quadro 4-16, observa-se que a NP 4434 é menos exigente que o D.L. 236/98 relativamente ao parâmetro coliformes fecais.

Esta diferença deve-se ao fato dos critérios de qualidade microbiológica atenderem, maioritariamente, às diversas utilizações (agrícolas, desportivas, ornamentais, restrições de contacto com a área regada, etc.) que são dadas às plantas e ao seu método de rega (Monte

& Albuquerque, 2010), sendo o D.L. mais direcionado para usos agrícolas e com contacto humano direto.

No caso da C.A.C.I.A., os espaços verdes embora não sejam áreas de uso restrito, são objetivamente para uso paisagístico, não havendo contacto previsto como por exemplo em usos desportivos como o golf.

Para além dos padrões de qualidade microbiológica exigidos, outra questão bastante importante prende-se com o nível de salinidade presente na água recuperada para rega. No Quadro I.5 em Anexo, pode observar-se o grau de tolerância de muitas espécies de ornamentação paisagística à salinidade.

No entanto conhecem-se vários tipos de relva que são tolerantes a águas com salinidades até 3 ds/m (SDT \approx 1920 mg/L) (T. Asano et al., 2007).

Através do Quadro I.6 em Anexo pode ficar-se com uma ideia do grau de tolerância à salinidade apresentado por diversas espécies de relva utilizadas em campos de golfe, e que teoricamente são mais sensíveis à qualidade da água (Monte & Albuquerque, 2010).

No Quadro 4-16 não são apresentados valores para matéria orgânica, CQO e CBO₅, sendo considerados parâmetros menos relevantes para rega, pois em geral não afetam o biosistema solo-planta. Contudo elevadas concentrações e a estagnação das águas, podem promover o desenvolvimento de biofilmes e de maus odores nos reservatórios e condutas (Monte & Albuquerque, 2010).

Devido à especificidade da ETAR em questão (fruto dos afluentes industriais produzidos) seria importante que também fossem considerados parâmetros como óleos e gorduras; hidrocarbonetos totais e detergentes, apesar não estarem referidos nem no D.L. nº236/98, nem na NP 4434:2005.

Por outro lado segundo a Recomendação IRAR nº 02/2007 (IRAR, 2007), do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (atual ERSAR-Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos) para a utilização de águas residuais tratadas, no caso de não existir regulamentação específica para certos parâmetros de qualidade, estes devem ser definidos, caso a caso, em articulação com a autoridade de saúde competente. Contudo, esta recomendação refere-se à produção e distribuição de águas residuais tratadas, e é dirigida para entidades gestoras de sistemas multimunicipais e municipais de saneamento de águas residuais urbanas.

Segundo a recomendação do IRAR devem ser considerados os seguintes aspetos:

- Para além da necessária licença de descarga da ETAR, devem ser asseguradas as licenças e/ou autorizações adequadas para a utilização pretendida.
- A utilização na rega de jardins públicos (espaços verdes urbanos, parques desportivos e campos de golfe) depende da autorização da Administração de Região Hidrográfica (ARH), neste caso Centro, mediante parecer favorável do Delegado Regional de Saúde, em articulação com o Delegado Concelhio de Saúde (artigo 58º do D.L. nº236/98, de 1 de Agosto).
- Independentemente da existência de regulamentação específica, devem ser sempre consultadas a ARH e a autoridade de saúde competente.

4.3.3 Metodologia utilizada

Este subcapítulo pode ser dividido em duas partes: uma primeira parte em que é descrito o estudo teórico conducente ao *matching* entre a qualidade do efluente da ETAR e a qualidade de água para rega dos jardins e uma segunda parte em que é descrita uma avaliação empírica realizada no terreno.

1ª Parte – Estudo de compatibilidade na rega dos jardins com recurso ao efluente da ETAR:

A metodologia adotada consistiu num conjunto de tarefas sequenciais conducentes ao objetivo estabelecido, e a seguir descritas:

- Caracterização quantitativa da oferta, recorrendo-se aos registos volumétricos dos afluentes e efluentes da ETAR (de 2009 a 2011). Com estes dados e recorrendo às análises internas de controlo de CQO no afluente, foi igualmente efetuada uma análise à influência da precipitação (devido ao escoamentos nos sumidouros em zonas de risco) no caudal e qualidade do afluente industrial.
- Caracterização das necessidades volumétricas da procura, baseada nos consumos durante o período de 2009 a 2011, e das disponibilidades da oferta, afim de se avaliar a equivalência quantitativa entre ambas.
- Análise aos resultados das análises externas de controlo regulamentar ao efluente da ETAR (entre 2009 e 2011), para ser feita a verificação entre a qualidade do efluente e os requisitos estabelecidos pela NP 4434:2005 (cujos valores foram adotados do Anexo XVI de D.L. 236/98), de forma a identificar a conformidade e/ou limitações aos vários parâmetros indicados, na reutilização como água de rega paisagística.

2ª Parte – Experiência de rega no relvado:

A experiência de rega de uma parcela experimental seguiu os seguintes passos:

- Cálculo, aproximado, do consumo diário de rega por metro quadrado, recorrendo aos consumos de água para rega durante os anos de 2009 a 2011, para estabelecer um volume diário de referência.
- Desativação da rega automática em duas zonas nas imediações da ETAR, e rega diária manual (durante os meses de Abril, Maio, Junho e Julho) de quatro secções delimitadas de um metro quadrado cada, com recurso ao efluente da ETAR e usando o volume diário de referência estimado.
- Destas quatro secções, duas encontravam-se numa zona de gramão e as outras duas com predominância de erva. As regas foram realizadas ao final da tarde, utilizando um regador e uma máquina de sulfatar de modo a tentar recriar os métodos de rega por gota-a-gota e aspersão, de forma a visualizar potenciais efeitos da evapotranspiração e da toxicidade de certos iões por contacto direto com a folhagem.

- Análise em amostras destes volumes diários de rega, aos parâmetros analíticos: pH, CQO, SST e condutividade, sendo utilizados os métodos analíticos referência que constam no seguinte Quadro 4.17.

Quadro 4.17 – Parâmetros analisados e o correspondente método analítico de referência utilizado.

Parâmetro	Método analítico de referência
pH	Eletrometria
CQO	Espectrometria de absorção atómica
SST	Método 2540 B do Standard Methods for the Examination of water and wastewater (2005)
Condutividade	Eletrometria

4.3.4 Resultados e discussão

1ª Parte – Estudo de compatibilidade na rega dos jardins com recurso ao efluente da ETAR

A ETAR da RENAULT C.A.C.I.A. recebe diariamente afluentes industriais, domésticos e por vezes os escoamentos pluviais das zonas de risco. O tratamento biológico opera em contínuo, 24 horas/dia, no tanque de lamas activadas e o tratamento físico-químico opera cerca de 11 horas/dia, 5 dias/semana, aquando da actuação do operador.

No Quadro 4.18 é apresentada a evolução dos volumes tratados ao longo dos três anos (é preciso referir que o volume doméstico resulta da diferença entre o efluente da ETAR e o afluente industrial, visto não possuir qualquer contador à entrada).

O afluente industrial apresentou em 2010 um valor máximo para o volume afluente à ETAR, assim como uma diminuição percentual no contributo para o efluente total no ano de 2011.

Quadro 4.18 – Volumes dos afluentes e efluente da ETAR nos anos 2009, 2010 e 2011.

	Volumes 2009 (m ³)			Volumes 2010 (m ³)			Volumes 2011 (m ³)		
	Industrial	Doméstico	Efluente	Industrial	Doméstico	Efluente	Industrial	Doméstico	Efluente
Total anual	16.788	9.880	26.668	20.905	11.730	32.635	16.031	15.823	31.854
Média mensal	1.399	823	2.222	1.742	978	2.720	1.336	1.319	2.655
Desvio Padrão	384	312	516	667	326	765	431	265	469
Máximo	2.322	1.210	2.717	3.295	1.540	4.159	2.082	1.844	3.663
Mínimo	894	605	1.231	991	802	1.361	1.078	1.066	1.977
%	63 %	37 %	100 %	64 %	36 %	100 %	50 %	50 %	100 %

Da observação do gráfico da Figura 4.13, é visível a diminuição do caudal durante o mês de Agosto devido à paragem de verão. Apesar de existir alguma afluência industrial neste mês, fruto das descargas totais e parciais para limpeza das diversas centrais, há um decréscimo muito acentuado do afluente doméstico devido ao período de férias da maior parte dos colaboradores.

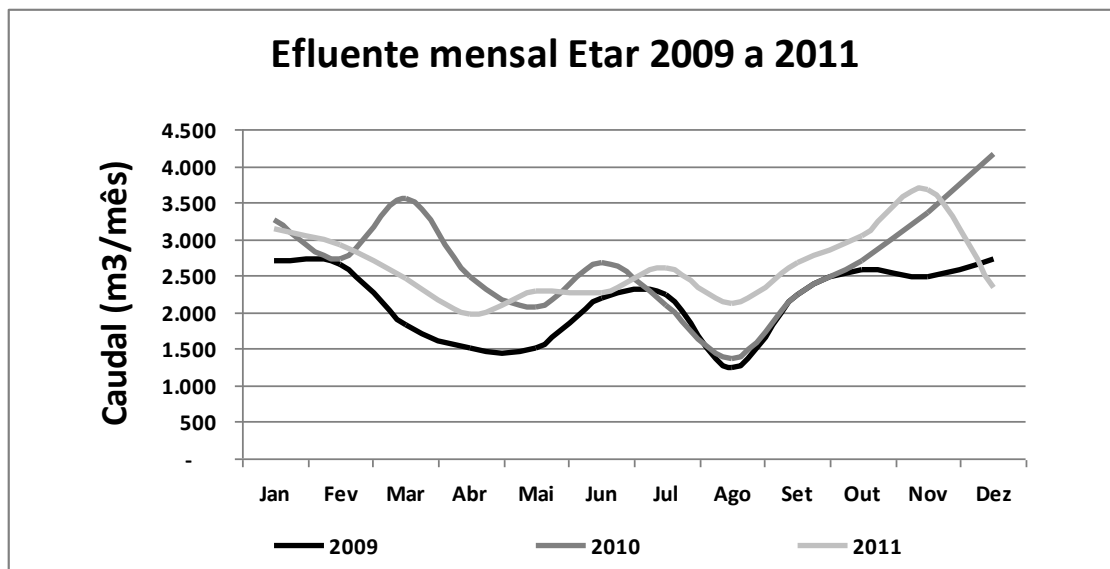


Figura 4.13 – Variação sazonal no caudal do efluente da ETAR .

Para verificar a influência da precipitação sobre o caudal industrial que chega à ETAR, foram construídos os gráficos constantes da Figura 4.14, 4.15 e 4.16, recorrendo aos dados pluviométricos mensais, entre 2009 e 2011, obtidos na estação meteorológica da Barragem de Castelo Burgães (através do site online do SNIRH), bem como os caudais mensais de afluente industrial.

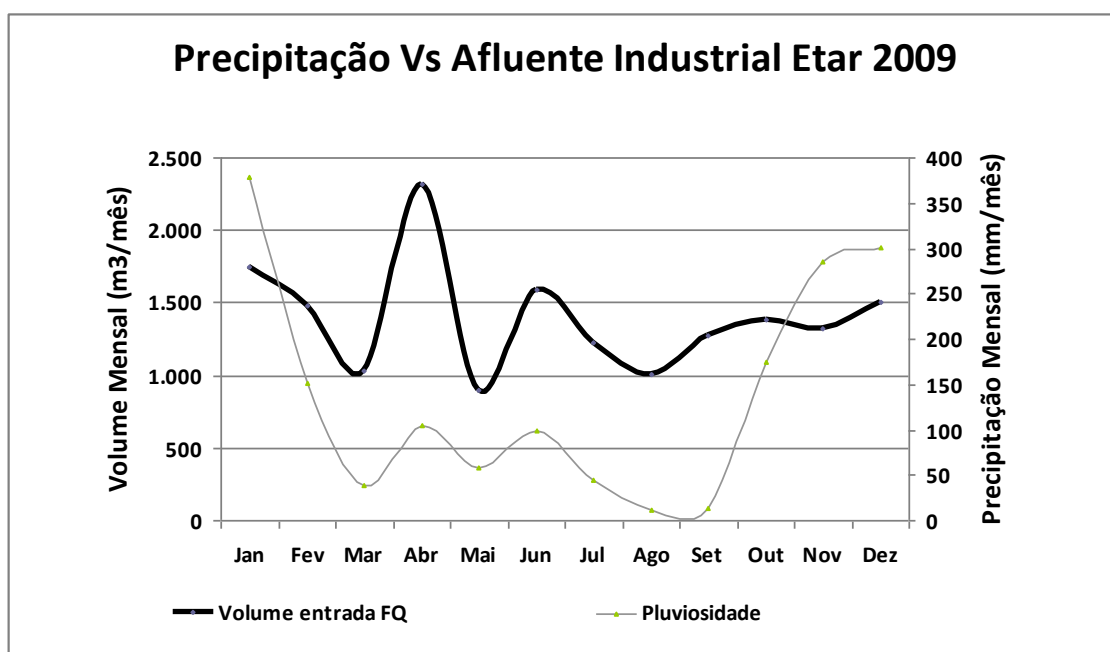


Figura 4.14 – Relação da precipitação/ afluente industrial 2009.

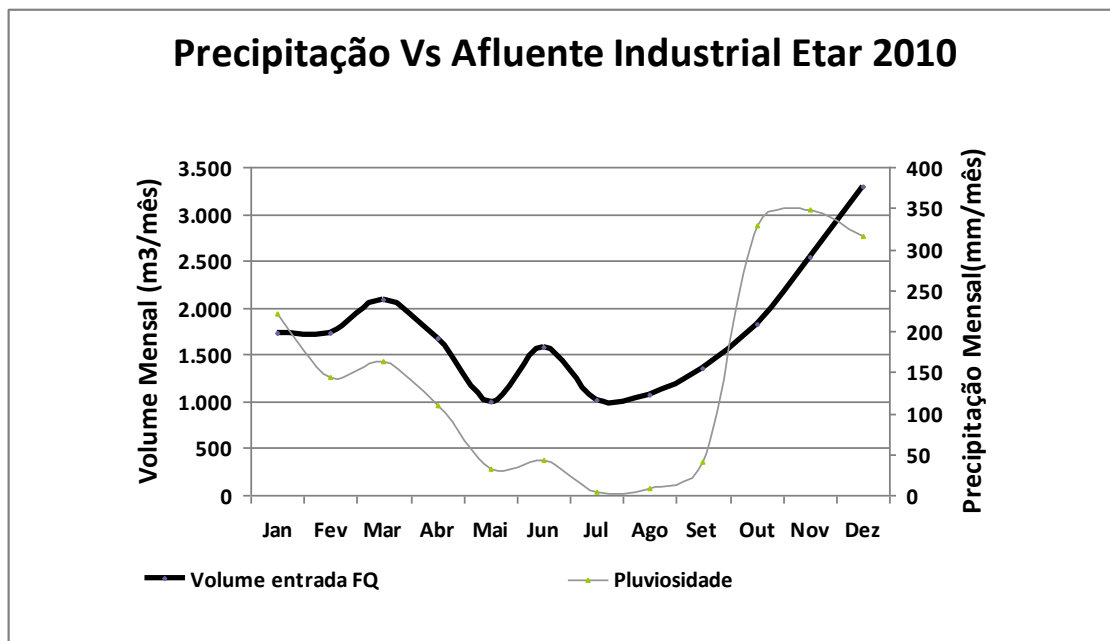


Figura 4.15 – Relação da precipitação/afluente industrial 2010.

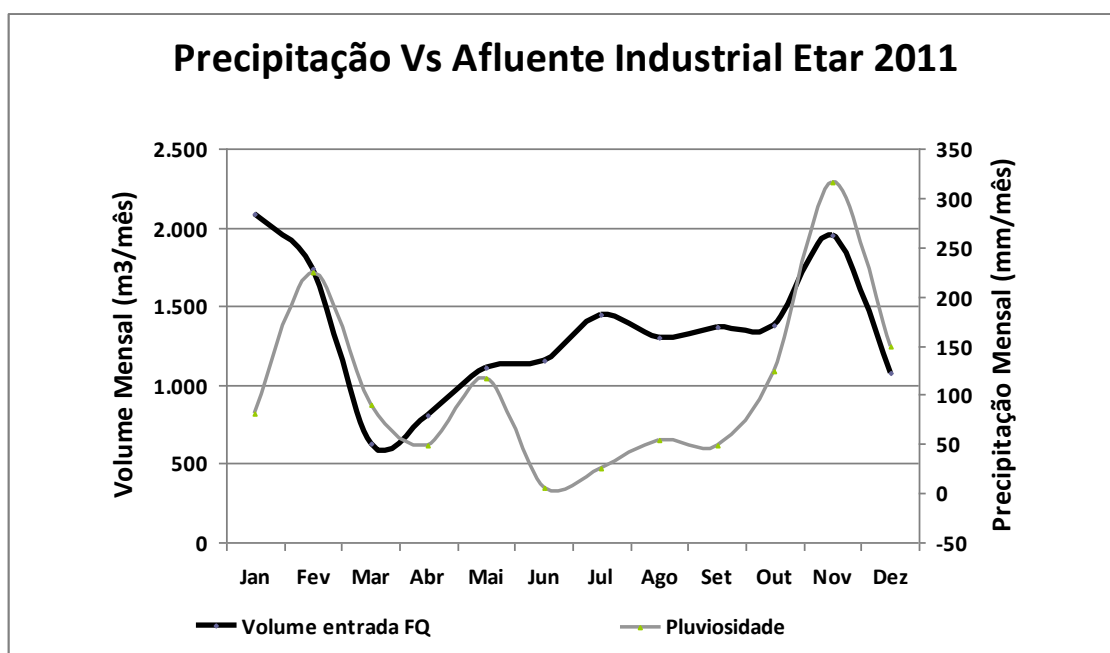


Figura 4.16 – Relação da precipitação/afluente industrial 2011.

Da análise das Figuras 4.14 a 4.16 é possível verificar a evidência da influência da precipitação ocorrida sobre o volume do afluente industrial, com a exceção de Novembro e Dezembro de 2009, e entre Junho e Agosto de 2011.

Para confirmar a significância da correlação entre a precipitação e o volume do afluente industrial, foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson e o valor de p (significativo para um grau de confiança superior a 95%). Neste cálculo foram utilizados os valores diários por serem mais representativos e para garantirem a distribuição normal

da amostra. Os resultados mostraram que a correlação entre as duas variáveis é significativa ($p < 0,001$) para todos os anos de estudo (Quadro 4.19).

Quadro 4.19 – Teste de correlação de Pearson entre valores diários de precipitação e volume do afluente industrial.

Ano	2009	2010	2011
Coefficiente de Pearson	0,249	0,304	0,421
p	<0,001	<0,001	<0,001

O mesmo teste de correlação foi efetuado para verificar a influência da precipitação na qualidade do afluente (utilizando os dados diários de CQO do afluente industrial, obtidos pelo operador). Os resultados confirmam uma correlação inversa (coeficiente de Pearson negativo) significativa ($p \leq 0,034$) entre as duas variáveis para todos os anos de estudo (Quadro 4.20). Esta esperada correlação inversa resulta do facto diluição do afluente pela água da chuva.

Quadro 4.20 – Teste de correlação de Pearson entre valores diários de precipitação e CQO do afluente industrial.

Ano	2009	2010	2011
Coefficiente de Pearson	-0,1333	-0,291	-0,243
p	0,034	<0,001	<0,001

Recorrendo ao registo das análises internas de CQO, foi possível construir o seguinte gráfico da Figura 4.17 e compreender a variação sazonal do CQO médio mensal do efluente durante os anos de 2009 a 2011.

Assim pode verificar-se ao longo do ano a existência de um pico durante o mês da paragem que resulta das descargas totais e parciais da limpeza das centrais. Este aumento de CQO é amplificado pelo facto da redução do fator diluição provocada pela diminuição do afluente doméstico.

Analisando o gráfico constata-se também que, de ano para ano, as concentrações de CQO têm vindo a aumentar progressivamente, razão pela qual a fábrica se viu obrigada a cessar a descarga diretamente no meio natural receptor, tendo de recorrer aos serviços municipalizados para descarga do efluente tratado.

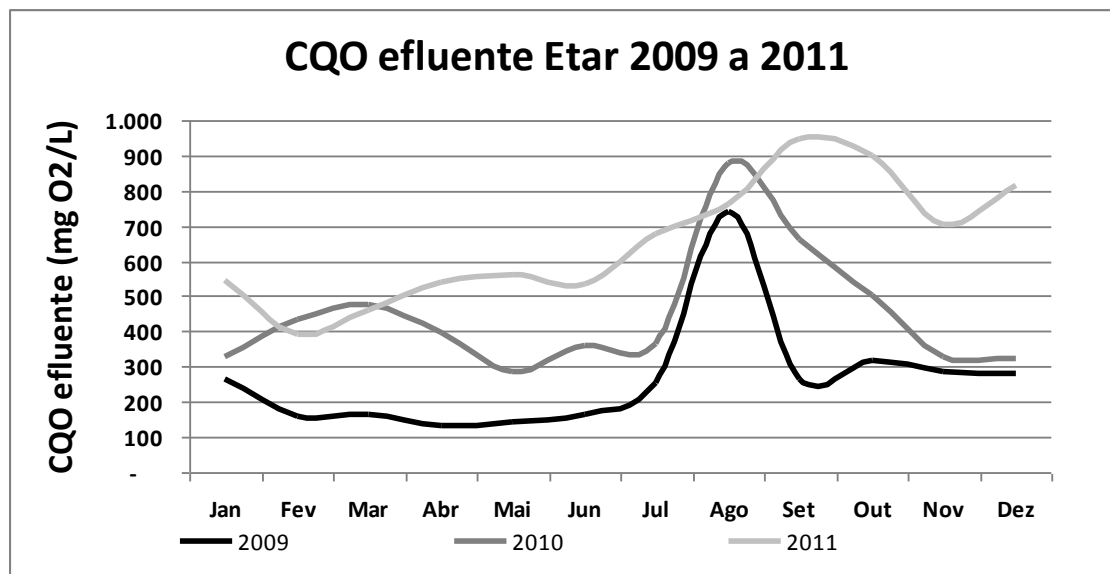


Figura 4.17 – Variação sazonal do CQO do efluente da ETAR entre 2009 e 2011.

Para verificar em termos de caudais diários se as disponibilidades da ETAR cobririam as necessidades para a rega durante os meses de Abril a Outubro, foi efetuado o cruzamento entre os caudais médios diários de saída da ETAR e os consumos médios diários de rega de cada mês, para os três anos em estudo (Quadro 4-21).

Da análise ao Quadro 4-21 verifica-se que para os meses mais críticos de rega, o recurso ao reaproveitamento do efluente da ETAR poderia colmatar em cerca de 62% e 65% as necessidades durante os anos de 2009 e 2010, respetivamente, satisfazendo na grande maioria dos meses a totalidade das necessidades de 2011.

Quadro 4.21 – Necessidades Vs disponibilidades nos anos de 2009, 2010 e 2011.

	Consumos médios diários de Rega (m ³ /dia)			Caudais médios diários do Efluente da ETAR (m ³ /dia)			Diferenças mensais (m ³ /dia)		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Janeiro	0	0	0	117	126	143	117	126	143
Fevereiro	0	0	0	126	114	147	126	114	147
Março	0	0	0	83	131	117	83	131	117
Abril	26	8	43	72	99	99	46	91	56
Maio	144	214	123	75	86	109	-69	-128	-14
Junho	142	222	110	95	107	113	-47	-115	3
Julho	156	211	98	98	95	113	-58	-116	15
Agosto	214	248	124	72	91	128	-142	-157	4
Setembro	155	103	96	102	101	112	-53	-2	16
Outubro	169	73	111	107	122	145	-62	49	34
Novembro	0	0	0	112	146	153	112	146	153
Dezembro	0	0	0	124	198	111	124	198	111
Consumo médio 7 meses (m ³ /dia)	144 ± 57	154 ± 92	101 ± 28	89 ± 15	100 ± 12	117 ± 15			
Máximo	214	248	124	107	122	145			
Mínimo	26	8	43	72	86	99			

Como já havia sido referido no subcapítulo 4.1.1., os consumos da rega variam muito de um ano para o outro, primeiro em função da precipitação durante os meses de rega e em segundo pela disponibilidade diária de água para cobrir todas as necessidades da fábrica, tendo sido reportada esta insuficiência diária durante o ano de 2011, que resultou na desativação da rega automática compensada pelo facto de no ano de 2011 se ter registado uma precipitação elevada nos meses Julho, Agosto e Setembro (meses críticos de rega), (Quadro 4.22).

Quadro 4.22 – Registos da precipitação mensal (SNIRH, 2012)

Mês	Precipitação (mm/mês)		
	2009	2010	2011
Janeiro	379	222	80
Fevereiro	151	145	225
Março	38	164	90
Abril	104	110	48
Mai	59	33	116
Junho	100	44	6
Julho	45	4	26
Agosto	12	8	53
Setembro	14	40	48
Outubro	175	330	124
Novembro	285	348	317
Dezembro	302	317	150
Média Mensal	139	147	107
Total Anual	1.666	1.764	1.283

No que se refere à caracterização físico-química e microbiológica do efluente da ETAR, bem como a identificação de limitações qualitativas existentes à sua reutilização, procedeu-se à compilação das análises externas de controlo regulamentar ao efluente da ETAR entre 2009 e 2011 e verificou-se quanto à sua conformidade recorrendo aos requisitos estabelecidos pelo DL n.º236/98 (Anexo XVI), também adotados na grande maioria pela NP 4434:2005.

Os Quadros 4.23 e 4.24 resumem os valores das características físico-química e microbiológica resultantes do tratamento estatístico feito às análises obtidas para o período de estudo.

Quadro 4.23 – Caracterização físico-química e microbiológica do efluente da ETAR (2009 a 2011).

Parâmetros	Unidade	Nº de análises	Média	Máximo	Mínimo
Nitratos (NO ₃)	mg/L	12	87 ± 128	230	1,7
Salinidade: Condutividade SDT	dS/m	3	2,5 ± 0,5	2,7	1,9
	mg/L	3	1600 ± 339	1856	1216
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/L	12	117 ± 78	270	30
pH	Escala Sorensen	11	7,1 – 8,2	8,2	7,1
Coliformes fecais	/100 mL	4	3,6x10 ⁵ ± 3,8x10 ⁵	8,7x10 ⁵	0
Ovos de parasitas intestinais	N/L	0	-	-	-
Fósforo Total (P)	mg/L	8	2,6 ± 1,0	4,5	1,3
Turvação	UNT	0	-	-	-

Do quadro anterior, tendo em conta as exigências regulamentares impostas pela legislação (vistas no capítulo 4.3.2) pode-se constatar-se, que:

- o parâmetro nitratos se encontra fora dos limites, contudo deve ser mencionado que 9 das 12 amostragens apresentaram resultados abaixo do limite de deteção desse parâmetro pelo método utilizado, tendo sido feita a média com os restantes 3 resultados.
- em relação ao grau de salinidade, o efluente apresenta valores um pouco elevados (acima do VMR). Porém como referido em (Harivandi, 2004), muitas espécies de relva toleram concentrações de SDT até aos 2.000 mg/L (≈ 3 dS/m de condutividade), no entanto estes solos deverão ter uma boa permeabilidade e drenagem.
- como apresentado no Quadro I.5 em Anexo, muitas espécies de plantas de ornamentação paisagística são tolerantes a elevados graus de salinidade.
- o parâmetro SST apresenta-se também fora do VMR, necessitando por isso de um tratamento complementar. Prevenindo também potenciais entupimentos nos sistemas e equipamentos de rega.
- ao nível microbiológico, atualmente sem a existência de um tratamento específico na ETAR, o número de coliformes fecais ultrapassa largamente os níveis de segurança recomendados pelo DL (100/100 mL), sendo necessário por isso a adição de um processo de desinfeção.
- o pH apresenta-se dentro dos limites regulamentares, assim como o fósforo total (recomendado pelos critérios de qualidade da NP). Sendo este parâmetro o segundo macronutriente mais importante para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Monte & Albuquerque, 2010).
- no que diz respeito à turvação (parâmetro referido na NP), diretamente relacionada com os SST de efluentes que sofreram um tratamento secundário, e ovos de

parasitas intestinais (helmintas) não existem quaisquer análises para se poder avaliar quanto à sua conformidade ou limitação.

O Quadro 4.24 apresenta uma série de parâmetros, que embora não existam valores limite recomendados ou regulamentares na reutilização de efluentes para rega, é necessário ter em atenção devido às características do efluente final em questão.

Quadro 4.24 – Caracterização físico-química do efluente da ETAR (2009 a 2011).

Parâmetros	Unidade	Nº de análises	Média	Máximo	Mínimo
CBO₅	mg O ₂ /L	12	103 ± 195	650	21
CQO	mg O ₂ /L	12	395 ± 2250	1000	120
Hidrocarbonetos Totais	mg/L	12	33 ± 37	94	6
Óleos e gorduras	mg/L	12	38 ± 43	130	8
Azoto total (N)	mg/L N	7	122 ± 57	200	47
Detergentes	mg/L	6	0,25 ± 0,15	0,47	0,08

Após a visualização do quadro acima podemos concluir que:

- os valores de óleos e gorduras e hidrocarbonetos totais, recorrendo aos VLE na descarga de águas residuais (para ter uma grandeza de comparação) no Anexo XVIII do DL nº 236/98, apresentam valores a ter em conta, podendo até, numa situação limite provocar a formação de uma camada sobre as áreas regadas. Revelando-se assim também num fator limitativo à reutilização do efluente da ETAR.
- as consideráveis concentrações de matéria orgânica biodegradável (CQO e CBO₅), embora não afetem a flora regada, apresentam alguma importância na medida em que podem causar o aparecimento de biofilmes e maus odores nos reservatórios e condutas.
- no caso do azoto total, sendo o macronutriente mais importante no crescimento das plantas, a sua elevada concentração revelasse numa mais valia para a água de rega, como referido no Quadro I.4 em Anexo.
- ao nível dos detergentes, estes apresentam-se abaixo dos VLE na descarga de águas residuais no Anexo XVIII do DL nº 236/98.

2ª Parte – Experiência de rega no relvado

A experiência de rega com o efluente da ETAR, teve início com o cálculo aproximado do volume médio diário por metro quadrado utilizado nos três anos de estudo. Como demonstrado no Quadro 4.25, através dos consumos médios diários durante este período, para uma área total ajardinada de 60.532 m² obteve-se o valor de 2,63 L/m²/dia, arredondando-se para 3 L/ m²/dia.

Quadro 4.25 – Volume diário de referência para rega.

	2009	2010	2011
Consumo médio diário (L/m ² /dia)	2,55 ± 0,95	3,49 ± 1,52	1,82 ± 0,46
Média (L/m ² /dia)	2,63 ≈ 3		

Após se terem escolhido duas zonas, próximas da ETAR e relativamente protegidas do sol (durante o final de tarde), delimitaram-se quatro parcelas com um metro quadrado cada em que se definiram as seguintes especificações variáveis para rega manual com os três litros diários do efluente da ETAR:

- Parcela 1 – zona com gramão e rega com o regador;
- Parcela 2 – zona com gramão e rega com máquina de sulfatar;
- Parcela 3 – zona com predominância de erva e rega com o regador;
- Parcela 4 – zona com predominância de erva e rega com a máquina de sulfatar

Efetuiu-se a desativação do sistema de rega automática nestas duas zonas e realizou-se a rega manual diariamente, ao final do dia, durante os meses de Abril a Julho. Com isto pretendia-se avaliar potenciais efeitos nocivos provocados, principalmente, pela salinidade da água de rega na planta, bem como de outros parâmetros que pudessem causar a intoxicação da planta (por exemplo cloro, boro, molibdénio, etc.).

Como é visível pelas seguintes imagens (Figura 4.18-23), após quatro meses de rega com o efluente tal como sai da ETAR, não se verifica a morte ou queimadura das plantas em qualquer um dos casos. Podemos também verificar que não existe uma visível diferença entre rega sob a forma de um aerossol e por gota-a-gota (simulação aproximada com o regador), mais recomendada pela literatura para mitigar os efeitos sentidos pela elevada salinidade.

Se por um lado na zona com gramão nada podemos concluir sobre a in/suficiência do volume de rega, visto não serem visíveis as diferenças entre as secções regadas e a área envolvente, por outro lado é visível que no caso da erva foram providas as necessidades hídricas das plantas, em contraponto ao aspeto seco da área circundante (apenas foi feita a rega das árvores nesta zona com água da rede).



Figura 4.18 – Início rega (04/04/12), parcela 1 e 2 (esquerda para direita)



Figura 4.19 – Início rega (04/04/12), parcela 3 e 4 (esquerda para direita)



Figura 4.20 – Fim da rega (26/07/12), parcela 1 e 2 (esquerda para direita).



Figura 4.21 – Fim da rega (26/07/12), parcela 3 e 4 (esquerda para direita).



Figura 4.22 – Fim da rega (26/07/12), parcela 2 (aproximada).



Figura 4.23 – Fim da rega (26/07/12), parcela 3 e 4 (esquerda para direita).

O Quadro 4.26 resume as análises feitas aos parâmetros pH, SST, CQO e condutividade, obtidas da amostragem diária ao efluente durante o período experimental de rega (04/04/12 a 26/07/12).

Estas análises internas não se afastam dos valores médios obtidos das análises externas feitas aos dados entre 2009 a 2011, com exceção da condutividade que inclusive é superior em 0,3 dS/m.

Quadro 4.26 – Análises feitas ao efluente diário para rega.

	pH	SST (mg/L)	CQO (mgO ₂ /L)	Condutividade (dS/m)
Nº de determinações	56	50	49	56
Média	7,9 - 8,3	119 ± 78	412 ± 160	2,8 ± 0,3
Máximo	8,3	450	860	3,5
Mínimo	7,9	30	238	0,2

4.3.5 Intervenções de compatibilização na ETAR

Perante a atual qualidade da água residual da ETAR e com o intuito de se fazer a recuperação como água de rega por aspersão, é necessária a sua adequação, de forma a cumprir os requisitos de qualidade regulamentares definidos pelo Anexo XVI do DL n.º 236/98 e recomendações feitas pela NP 4434:2005. Para tal definiu-se como fatores limitativos prioritários os seguintes parâmetros apresentados no Quadro 4.27 (e.g., impacto associado).

Quadro 4.27 – Principais fatores limitativos e seus impactos.

Parâmetro	Impacto
Hidrocarbonetos (óleos e gorduras)	Deposição de películas oleosas nas áreas regadas
SST	Possíveis entupimentos nos equipamentos de rega
Contaminação microbiológica	Proteção da saúde pública e do ambiente
Matéria orgânica biodegradável	Desenvolvimento de biofilmes e maus odores

Em relação aos níveis de SDT, apesar de apresentarem valores consideráveis, não foi preconizado qualquer tratamento específico com base nos resultados obtidos com a experiência de rega desenvolvida e a literatura analisada.

Estas intervenções deveriam contemplar processos / tecnologias adicionais às existentes na ETAR e/ou alterações às condições processuais existentes.

Identificaram-se assim como unidades processuais objeto de potencial intervenção: o tratamento físico-químico e tratamentos adicionais após a decantação secundária (estando muitas destas opções de tratamentos no Quadro I.7 em Anexo).

De seguida é feita uma análise especificando as intervenções de afinamento e desinfecção pretendidas:

- O processo existente para remoção dos óleos e gorduras à superfície do tanque de homogeneização, é efetuada por meio de um cordão oleofílico (sendo estes enviados para um reservatório à parte). Contudo durante todo o estágio este cordão esteve inativo devido ao aparecimento de uma emulsão (resultante da alteração de alguns produtos na lavagem das peças maquinadas) à superfície do tanque, incapacitando o seu funcionamento. Sendo então esta remoção feita, manualmente por aspiração à superfície com recurso a uma bomba pneumática, seguindo-se a remoção no tratamento físico-químico (coagulação e floculação) e no tratamento biológico (tanque de lamas ativadas).

As Figuras 4.24 e 4.25 demonstram o elevado teor de óleos e gorduras que ocasionalmente chegam ao decantador primário, ficando uma parte retida nas lamas industriais resultantes da clarificação e seguindo outra para o tratamento biológico.

Devido às elevadas concentrações de óleos (sintéticos/minerais) e gorduras no afluente industrial e algumas falhas verificadas no processo de remoção, pensa-se

ser necessário implementar um sistema adicional ao nível do tratamento físico-químico para melhorar o desempenho de remoção.

Ainda que não existam limites regulamentares para a rega com águas residuais e que não se tenha observado a formação de qualquer camada nas secções regadas durante a experiência, é necessário prevenir que tal não aconteça no futuro e que sejam incrementadas as taxas de remoção de hidrocarbonetos, de forma a facilitar a tarefa do processo de tratamento biológico.



Figura 4.24 – Secagem de lamas industriais normalmente



Figura 4.25 – Secagem de lamas industriais com óleos.

- A elevada concentração de SST no efluente final, revela-se preocupante pois pode potenciar os casos de entupimentos no sistema de rega. Nesta medida, julga-se necessária a instalação de uma unidade de tratamento por filtração ao efluente final, para afinamento deste parâmetro para níveis mais reduzidos.
- Apesar de não ser considerada um fator prioritário, a matéria orgânica biodegradável vai sofrer reduções em consequência dos tratamentos complementares aos óleos e gorduras no tratamento físico-químico e da filtração para remoção dos sólidos suspensos. Diminuindo assim o risco de desenvolvimento de biofilmes e maus odores nas condutas e reservatórios.
- A rega por sistema de aspersão é o método que apresenta maiores riscos de disseminação de microrganismos patogénicos (devido à dispersão dos aerossóis que podem atingir transeuntes nas proximidades da área regada), é portanto necessária a implementação de um eficiente tratamento de desinfeção para obter um efluente de elevada qualidade microbiológica (Monte & Albuquerque, 2010).

Embora existam diversas tecnologias de desinfeção disponíveis (Quadro I.8 em Anexo), aquelas que se apresentam mais difundidas à escala industrial são a radiação ultra violeta (UV), a cloragem e a ozonização, na eliminação ou inativação de patogénicos dos efluentes (Mano).

A escolha entre estas três possibilidades prende-se, não só com a qualidade do produto final obtido, mas também com as características do afluente que se pretende tratar (alguns parâmetros podem afetar a eficiência da desinfeção).

Analisando o Quadro I.9 em Anexo, podemos observar que uma desinfeção por UV pode ser inviável devido às características tipicamente oleosas do efluente. Os

óleos e gorduras acumulam-se sobre as lâmpadas e absorvem a radiação, diminuindo assim a eficiência do tratamento e incrementando os gastos com operação e manutenção (O&M), na medida em que aumentam os consumos energéticos e é necessária a regular limpeza preventiva, para controlar a sujidade no equipamento (Santos, 2008). Adicionalmente, o tratamento por UV envolve custos de investimento e de O&M consideráveis.

A cloragem, embora sendo o tratamento mais barato, está comprovado que pode ocorrer a formação de compostos organo-clorados potencialmente cancerígenos e de subprodutos perigosos que poderiam queimar a flora. Apresentam também baixa eficiência relativamente a alguns patogénicos como protozoários e ovos de helmintas (Monte & Albuquerque, 2010).

Em termos microbiológicos como a nível de matéria oxidável residual e da própria cor e cheiro, a ozonização é dos três o que apresenta uma maior eficiência de tratamento (Martins), o que está menos suscetível às características particulares deste afluente a tratar e o mais indicado para o destino final a dar à água tratada. De referir que com a ozonização ocorre a oxidação de nitritos, ferro e manganês (Quadro I.9 em Anexo).

Fazendo um balanço geral (resumo das vantagens e desvantagens no Quadro 4.28), verifica-se que a desinfecção por ozonização se apresenta como a mais indicada por corresponder às necessidades/particularidades do afluente a tratar e da garantia de qualidade para a reutilização da água residual para rega.

- De referir que devido á implementação da filtração complementar antes da desinfecção para além de serem removidos sólidos suspensos (que contribuiriam para o aumento da necessidade de ozono a aplicar e serviriam de escudo de proteção aos microrganismos), também por subsequência é reduzida a turvação e removidos alguns tipos de parasitas (Quadro I.8 em Anexo).

Quadro 4.28 – Vantagens e desvantagens da desinfecção por ozonização (Monte & Albuquerque, 2010)

Vantagens	Desvantagens
Eficaz na remoção da generalidade dos patogénicos, incluindo <i>Giardia</i> .	Consideráveis custos iniciais de investimento.
Remoção de cor e de odores da água.	Consideráveis custos de O&M.
Ocorre a oxidação de poluentes orgânicos persistentes.	O teor de CBO solúvel aumenta, estimulando o reaparecimento de microrganismos.
Não ocorre a formação de compostos organo-halogenados, excetuo de compostos bromados.	Formação de bromatos.
Oxidação de ferro, manganês e nitritos.	Algum grau de complexidade na operação, sendo necessário um operador especializado.
Não é necessário o transporte e armazenamento de substâncias perigosas.	Elevado grau de toxicidade, sendo necessárias medidas de segurança adequadas.
É um processo flexível, podendo ser a sua produção ajustável.	Considerável grau de corrosão, sendo necessária a seleção apropriada de materiais.

4.3.6 Intervenções infraestruturais no armazenamento e distribuição da água para rega

Existe nas imediações da ETAR um antigo reservatório subterrâneo, atualmente desativado, cujo volume total ronda os 145m³ e de um volume efetivo de aproximadamente 105 m³.

Pelos dados referidos, no Quadro-21 (necessidades vs disponibilidades) verifica-se que a média diária de efluente produzido na ETAR, entre os anos 2009 a 2011 para os sete meses em que se registou rega, era de aproximadamente 100m³/dia (com valores máximos de 145m³/dia e mínimos de 72m³/dia). Tendo então este reservatório, capacidade para armazenar as ART diárias na grande maioria dos meses de verão, mas não tendo contudo a capacidade para garantir o armazenamento dos volumes de efluente máximos diários. Pode-se assumir que não é a situação ideal, contudo o aumento da capacidade do reservatório implicaria um incremento nos gastos de reestruturação além do limite justificável.

Este reservatório seria o ponto de armazenamento da ART vinda da ETAR durante o dia, período em que se registam os maiores caudais de adução resultantes dos afluentes industriais e domésticos; e durante a noite apenas dos afluentes domésticos, sendo utilizada para a rega durante a noite.

Para além das questões quantitativas, é preciso ter também em atenção que existem problemas associados à qualidade do armazenamento de ART, consoante o tipo de reservatório, seja ele aberto ou fechado. No Quadro-4.29 estão resumidos, para o caso de reservatórios fechados, os problemas e soluções mais recorrentes na literatura.

Quadro 4.29 – Problemas associados a reservatórios fechados e medidas de gestão para sua resolução (adaptado de(Metcalf & Eddy, 2004).

Problemas associados	Estratégias de gestão
Estagnação	Recirculação
Libertação de odores (sobretudo gás sulfídrico)	Arejamento; Recirculação
Perdas de cloro residual livre	Cloragem
Reaparecimento de microrganismos	Cloragem; Recirculação

Outro problema referido prende-se com o risco potencial de aparecimento de algas e consequentes fenómenos de eutrofização, devido a altas concentrações de azoto e fósforo (Martins). No caso da Renault C.A.C.I.A., os valores de fósforo total no efluente estão dentro dos valores recomendados pela NP 4434:2005, apresentando porém níveis consideráveis de azoto total. Estes dois nutrientes se por um lado são indesejáveis, por causa dos fenómenos de eutrofização, por outro são uma mais-valia pois acrescentam valor fertilizante nas áreas regadas.

Pensa-se que devido ao facto de existir uma grande circulação diária entre a água recuperada de adução (durante todo o dia) e a rega (durante a noite), bem como não ser planeado um armazenamento sazonal de longa duração, que estas questões terão pouca amplitude.

Como principais reestruturações no reservatório, foram previstas as seguintes alterações esboçadas nas Figuras I.5 e I.6 em anexo. Inicialmente tinha-se pensado em outros tipo de modificações como figura no rascunho em anexo (Figura I.7).

Com estas modificações pretende-se criar um compartimento fechado para instalar uma bomba de água centrífuga horizontal, de características similares à bomba que atualmente opera, e facilitar o acesso de pessoal a toda a área aquando da necessidade de limpezas ou ações de manutenção no depósito.

Em relação à conexão com a rede de distribuição para rega, foi identificado um ponto de ligação no ramal principal da rede, estando localizado nas imediações do reservatório.

Foi também pensado no potencial layout (Figura I.8 em Anexo) para ligação aos tratamentos complementares, de “afinamento” e desinfecção necessários, bem como da sua ligação ao depósito e ligação ao coletor de esgoto da SIMRIA. Será sempre necessário manter esta ligação para os períodos de Inverno em que não se prevê produção de ART, para os momentos em que o depósito atinge a sua capacidade de armazenamento e por avaria no tratamento complementar ou na bomba de adução à rede.

Para esta comutação foram preconizadas duas válvulas com atuador pneumático, como esquematizado na Figura I.9 em Anexo, para alternar quando justificável entre rejeição ou recuperação do efluente.

A utilização da rede de rega por ART e água do furo, revela-se uma boa ideia, pois assim está garantida uma fonte alternativa para situações em que a disponibilidade de ART é inferior às necessidades de rega ou no caso de alguma avaria no tratamento do efluente. É também reduzido o risco de desenvolvimento de biofilmes nas condutas, sendo contudo necessária a introdução de válvulas anti-retorno para impedir a contaminação da cisterna industrial/regas/incêndios com ART.

Outra ação preventiva ao desenvolvimento de biofilmes, passa por uma limpeza completa de toda a rede de rega, tratamentos complementares e reservatório com água do furo, no final de época prevista de regas.

De forma a tornar automático todo o processo de permutas entre a adução da rede de rega com recurso a ART ou água do furo, a rejeição para o coletor municipal ou tratamento complementar para recuperação do efluente e dar resposta aos comandos do programador de rega, é necessário contemplar a adição de todas componentes elétricas para o sistema pensado. Grande parte destas ações responde aos diversos sinais de nível colocados no reservatório de rega, conforme o esquema na Figura I.10 em Anexo.

Todo o sistema operacional previsto, resultante da junção entre a parte hidráulica e elétrica, está esquematizado na Figura I.11 em Anexo.

Devem também ser previstos certos cuidados e intervenções a ter, de forma a garantir a segurança dos colaboradores e salvaguarda da saúde pública. Este tipo de cuidados e intervenções, conforme recomendado por (Santos, 2008) passa por:

- verificação das distâncias horizontais e verticais mínimas de afastamento entre as tubagens de rega e de água potável, conforme o previsto na regulamentação em vigor.

- identificação própria e clara em todos os dispositivos e acessórios envolvidos no sistema de rega com recurso a ART, para que se distinga visivelmente das outras redes. Bem como a necessidade de identificar a fonte de água em pontos, como mangueiras ou outras picagens exteriores, e sinalizar a sua interdição para outros fins que não a rega.
- avisos e sinalética de distância e precaução nas áreas regadas, para minimizar o contacto de transeuntes com os aerossóis, aquando da rega.
- regas noturnas afim de minimizar o possível contato com colaboradores, bem como reduzir o processo de evapotranspiração.

4.3.7 Conclusões e recomendações

Com o desenvolvimento deste capítulo foram descritas as metodologias, tanto para o estudo da compatibilidade, quantitativa e qualitativa, do efluente da ETAR para a utilização em rega, como para a experiência feita no local com o efluente. Foram também propostas medidas de intervenção para a desinfeção e afinamento dos parâmetros considerados mais críticos para esta aplicação, bem como preconizadas as necessárias alterações e acréscimos nas infraestruturas para tornar este processo operacional o mais automatizado possível.

As principais conclusões obtidas através dos variados resultados e constatações resumem-se a:

- Os afluentes domésticos representam uma importante fração das águas residuais da ETAR, representando em 2011 cerca de 50% do efluente final, a par com os afluentes industriais.
- Verificou-se estatisticamente a influência, quantitativa e qualitativa, da precipitação sobre o afluente industrial e por subsequência no efluente final da ETAR.
- As concentrações da matéria orgânica biodegradável têm vindo a aumentar substancialmente ao longo dos anos.
- Recorrendo aos históricos de consumos de rega e efluente da ETAR disponível constatou-se que, teriam sido colmatadas em 62%, 65% e 100% as necessidades médias diárias de rega para os anos de 2009, 2010 e 2011, respetivamente, para os meses de rega que vão normalmente de Abril a Outubro.
- Foram identificados como fatores mais críticos ou limitativos, ao reaproveitamento do efluente para rega, os picos na concentração na concentração dos óleos e gorduras (hidrocarbonetos totais), o considerável teor em sais salinos, a elevada concentração em SST e o grande número de microrganismos patogénicos (coliformes) presentes no efluente da ETAR.
- Experimentalmente, com a rega do relvado com o atual efluente, constatou-se que não houve o aparecimento de necroses (semelhantes a queimaduras), nem a morte da flora nas secções regadas, por intoxicação com sais minerais ou por ação de outros fatores químicos. Não se verificaram também diferenças visíveis entre a

- rega com o regador (gota-a-gota) e a máquina de sulfatar (aspersão), o que vem em contraponto ao previsto pela literatura (possivelmente devendo-se ao reduzido tempo experimental), tendo sido portanto satisfeitas as necessidades hídricas das plantas. Observou-se também que o gramão não é muito sensível à falta de água, ao contrário da erva.
- Conclui-se ser necessário implementar um tratamento químico complementar para a remoção de óleos e gorduras, bem como uma filtração para remoção dos sólidos suspensos no efluente final. Devido ao elevado número de coliformes fecais e de forma a reduzir os riscos na saúde pública, julga-se que a adição de uma desinfecção por processo de ozonização, é a mais indicada neste caso específico.
 - Foram também pensadas algumas remodelações infraestruturais no reservatório existente; alterações e acréscimos às redes de águas residuais e de rega, respetivamente; bem como consideráveis acréscimos na parte elétrica do novo sistema, de modo a automatizar o processo ao máximo.
 - Foram também referidas algumas medidas de proteção e minimização à exposição dos colaboradores quer através de regas noturnas (tendo em conta a evapotranspiração), quer através de sinais informativos alusivos ao uso de ART e de distâncias de segurança nas áreas regadas, quer através da identificação e proibição, para usos que não a rega, nas diversas picagens (torneiras e mangueiras) de toda a rede de rega.

Quando foram analisadas as necessidades vs disponibilidades médias diárias, constatou-se que para os anos de 2009 e 2010 as necessidades de rega diária não seriam colmatadas na totalidade. O restante volume diário em falta teria então de ser preenchido com água captada do furo.

Em linha com esta carência, vem a necessidade de ser feita ocasionalmente a lavagem dos sais nos solos regados com ART, através de sessões de rega alternada com água natural (do furo), para reduzir o teor salino e a concentração de elementos potencialmente tóxicos no solo. Tendo também em conta a precipitação, durante estes 7 meses, como contribuinte desta lavagem (Monte & Albuquerque, 2010).

Esta medida poderia então ser feita através da rega diária com recurso maioritário das ART disponíveis e a parte em falta (caso necessário) com água captada do furo. Sendo estas frações estudadas e definidas previamente, e aplicadas em tempos de rega no programador.

Fazendo então uma análise às potencialidades desta recuperação, são encontradas variadas vantagens como: i) a diminuição dos custos anuais associados à rejeição para a SIMRIA; ii) diminuição dos consumos de água captada (contribuindo para a redução do avanço das águas salobras sobre os aquíferos); iii) a diminuição dos custos no tratamento da água captada; iv) melhoria do meio envolvente devido à maior fertilização nesta rega (por absorção dos nutrientes azoto e fósforo pelas plantas); v) supressão do défice diário de água para rega; e vi) a pré-existência de um depósito que dispõe das dimensões mínimas para armazenar a grande maioria dos caudais diários de efluentes da ETAR (pelo menos segundo os estudos de 2009 a 2011).

Apresenta como desvantagens: i) os potenciais riscos para a saúde pública (minimizados pela desinfecção); ii) a possível dificuldade de aceitação por parte dos colaboradores (sendo

necessária para além da desinfeção, uma sensibilização e informação de todos); iii) os elevados teores salinos das ART; e iv) um incremento do controlo de qualidade e monitorização tanto das ART como do solo regado.

Por fim, com o decorrer deste estudo, pode afirmar-se que atualmente existem lacunas na legislação e na orientação normativa, especificamente direccionada para o caso particular de reaproveitamento de efluentes a partir de ETARs industriais. Este facto é contraproducente para com a medida 39 (recomendada pelo PNUEA) de utilização de ART em jardins e similares, aplicável ao uso industrial.

5 Otimização do funcionamento da ETAR

Este capítulo, adicional ao plano de trabalhos, refere-se ao estudo de otimização do funcionamento do tratamento biológico da ETAR, mais concretamente estudar se os níveis de oxigénio dissolvido (OD) fornecidos pelo arejador, ao sistema composto pelos microrganismos aeróbios responsáveis pelos processos de oxidação da matéria orgânica, eram: suficientes, insuficientes ou se até se verificavam excessos no arejamento, traduzindo-se em desperdícios energéticos e monetários.

5.1 Análise das eficiências da ETAR

Um fator importante para compreender se uma ETAR está a funcionar corretamente, prende-se com eficiência na remoção de poluentes.

Seguidamente são apresentadas as eficiências nos tratamentos primários e secundário da ETAR durante os anos 2009, 2010 e 2011 (Quadro 5.1), calculadas a partir de balanços mássicos ao parâmetro CQO (visto ser o parâmetro da qual se dispõe de mais dados diários), para avaliar o desempenho de ambos na remoção da matéria orgânica. A eficiência global não pode ser calculada, visto ocorrer a junção de afluentes domésticos aos industriais na entrada para o tanque de lamas ativadas.

Quadro 5.1 – Eficiência de remoção de CQO nos tratamentos Físico-químico e Biológico da ETAR.

	2009		2010		2011	
	Tratamento Físico-Químico	Tratamento Biológico	Tratamento Físico-Químico	Tratamento Biológico	Tratamento Físico-Químico	Tratamento Biológico
Média	74% ± 6 %	87% ± 6 %	75% ± 4 %	82% ± 6 %	71% ± 4 %	74% ± 6 %
Máximo	83%	94%	79%	91%	75%	83%
Mínimo	67%	73%	65%	72%	63%	66%

Como pode ser verificado, existe maior eficiência na remoção da matéria orgânica por parte do tratamento biológico (em parte pelo fator diluição do afluente doméstico). Observa-se em ambos os tratamentos, que estes apresentam bons valores médios, tendo em conta a avançada idade da ETAR.

Pode também constatar-se, mais concretamente no tratamento biológico, que a gama de eficiência na remoção da carga orgânica tem decrescido ao longo do tempo. Podendo ser justificado por dois motivos:

- Pelo aumento gradual da concentração de CQO do afluente industrial, como podemos ver no Quadro 5.2 (tendo as características qualitativas do afluente doméstico pouca variabilidade).

- Alguma deficiência no sistema de tratamento biológico que, como já foi referido, é feito utilizando um tanque de lamas ativadas, com arejamento e recirculação de lamas.

Quadro 5.2 – Valores médios do CQO do afluente Industrial entre 2009 e 2011.

	2009	2010	2011
CQO afluente industrial (mg O₂/L)			
Média	11.876 ± 3.294	15.633 ± 5.729	17.058 ± 6.066
Máximo	18.286	25.283	24.510
Mínimo	6.404	6.226	8.364

5.2 Tanque de lamas ativadas, ciclos de operação no arejador e O.D.

O processo de oxidação da matéria orgânica e remoção de nutrientes existentes na água, desenvolve-se no tanque de lamas ativadas e é caracterizado por ocorrer arejamento, de forma a ajudar o contacto entre a matéria orgânica da água residual e os microrganismos aeróbios (maioritariamente bactérias e alguns protozoários) que a vão decompor. Esta mistura forma pequenos flocos biológicos em suspensão neste meio, sendo estes, massas biologicamente ativas e desenvolvidos por processos de floculação das partículas coloidais orgânicas e inorgânicas, e dos microrganismos.

A quantidade de oxigénio necessária para toda a atividade microbiológica é fornecida por arejamento à superfície com recurso a um sistema de pás ligadas a um moto-rotor, localizado no centro do tanque.

Posteriormente, a água residual tratada sofre uma trasfega para o decantador secundário, onde por ação da gravidade se dá a decantação dos flocos biológicos, ficando à superfície a parte mais clarificada da água (sem matéria em suspensão). Seguindo então o efluente tratado para a conduta de ligação ao coletor municipal e encaminhado para uma ETAR da SIMRIA. As lamas depositadas no fundo do decantador secundário são “aspiradas” por um raspador com ar comprimido e recirculadas para o tanque de lamas ativadas.

Segundo (Metcalf & Eddy, 2004), o arejador deve fornecer uma quantidade suficiente de oxigénio dissolvido ao tanque de lamas ativadas, para que estejam garantidas as condições ótimas ao processo de oxidação da matéria orgânica por parte dos microrganismos aeróbios no tanque. Teoricamente, esta concentração mínima de oxigénio dissolvido (OD) dentro do tanque deve ser mantida entre os 1,5 e os 2 mgO₂/L, para toda a área disponível do tanque. Concentrações de OD superiores a 2 mg/L podem melhorar as taxas de nitrificação em reatores com elevadas cargas de CBO. Concentrações acima dos 4 mg/L para além de não melhorarem significativamente as operações de oxidação, vêm aumentar os custos energéticos consideravelmente, devido aos consumos desperdiçados no processo de arejamento subaproveitado.

O processo operacional no tanque de lamas ativadas respeita determinados ciclos diários de arejamento, para serem garantidas boas condições aeróbias e a estabilidade em todo o sistema vivo no tanque. Obtendo-se assim a manutenção cíclica de todo o oxigénio consumido pelos microrganismos e como resultado a obtenção de boas eficiências de remoção de matéria orgânica e de sólidos em suspensão.

Os ciclos de arejamento são comandados por um temporizador pré-programado, que controla permanentemente durante 24 horas, o arranque e a paragem do arejador.

5.2.1 Metodologia utilizada

Este estudo iniciou-se com o intuito de verificar se as concentrações de OD no tanque eram as mínimas necessárias para o bom funcionamento do sistema de lamas ativadas, e na melhoria da gestão do arejamento diário (resultando em poupanças energéticas/monetárias).

Tendo sido adotada a seguinte metodologia no desenvolvimento dos trabalhos:

- Quando se iniciou o estudo dos ciclos diários de arejamento no tanque biológico, o temporizador do arejador estava programado para arejar 1 hora e meia e sem arejamento meia hora, por ciclo, ao longo de todas as 24 horas. Independentemente do afluente que estivesse a aceder ao tanque (o tratamento físico-químico para os afluentes industriais funciona normalmente 5 dias por semana das 06:00 às 17:00).
- Para acompanhar os ciclos diários de arejamento no tanque (Figura 5.1) e avaliar o fornecimento/consumo do OD ao longo do dia, verificando também a homogeneidade do arejamento por todo o espaço, foram feitas medições diárias sistemáticas à concentração de OD nos quatro quantos do tanque (Figura 5.2), utilizando um medidor portátil de OD pertencente à fábrica.



Figura 5.1 – Arejamento no tanque de lamas ativadas

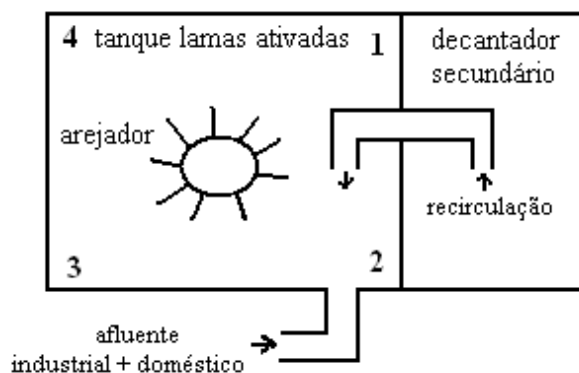


Figura 5.2 – Esquema de medições do OD no tanque

- As medições foram feitas em diferentes cenários, que variavam em função do tipo de afluente a aceder ao tanque no período de medição e do tempo de arejamento/paragem, como consta no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Variáveis consideradas nas medições para os diferentes cenários.

Cenários:	Afluentes:	Tempo c/ arejamento	Tempo s/ arejamento	Ciclos de arejamento/dia
1.	Industrial e Doméstico	1 hora e meia	meia hora	12 ciclos de duas horas
2.	Industrial e Doméstico	24 horas	0	1 ciclo de 24 horas
3.	Doméstico	1 hora e meia	meia hora	12 ciclos de duas horas
4.	Doméstico	meia hora	meia hora	24 ciclos de uma hora

- Cenário 1. iniciou-se a medição 5 minutos após o arranque e a paragem; e 10 minutos antes do fim do arranque e da paragem, durante 3 dias com 2 ciclos cada.
- Cenário 2. foram feitas medições de hora em hora, durante todo o período de funcionamento do tratamento físico-químico do afluente industrial, durante um dia.
- Cenário 3. foi feito similarmente ao 1. nos tempos de medição, tendo apenas entrada de domésticos.
- Cenário 4. iniciaram-se as medições 5 minutos após o arranque e a paragem do arejador; e 10 minutos antes do fim do arranque e da paragem, durante 1 dia. Apenas com afluentes domésticos.

5.2.2 Resultados e discussão

Do gráfico da Figura 5.3 pode observar-se que existe uma clara insuficiência de OD para a gama de concentrações mínimas recomendadas (entre 1,5 e 2 mgO₂/L), necessárias ao bom desempenho no processo de oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbios no tanque.

Cada um destes pontos no gráfico, resulta da média entre os 4 pontos de medição, localizados nos cantos do tanque. Não tendo sido verificadas diferenças significativas entre eles, e pode-se assumir que o arejador “cobre” toda a área do tanque. É importante referir que o primeiro ponto de cada par representa o início do arranque ou da paragem do arejador, e o segundo ponto o fim.

Os valores durante o período “sem arejamento” são muito baixos e o período de 1 hora e meia com arejamento revela-se deficiente para fazer a recuperação de todo o oxigénio consumido.

Outro facto importante a ser referido, prende-se com a descontinuidade dos pontos do dia 13/03/12 às 14:38 e 15:53 em relação ao restante padrão. Este acontecimento deveu-se à interrupção de entrada de afluente industrial por volta das 13:00. Pode-se assumir que a entrada do afluente industrial influenciava em muito as concentrações de OD no tanque.

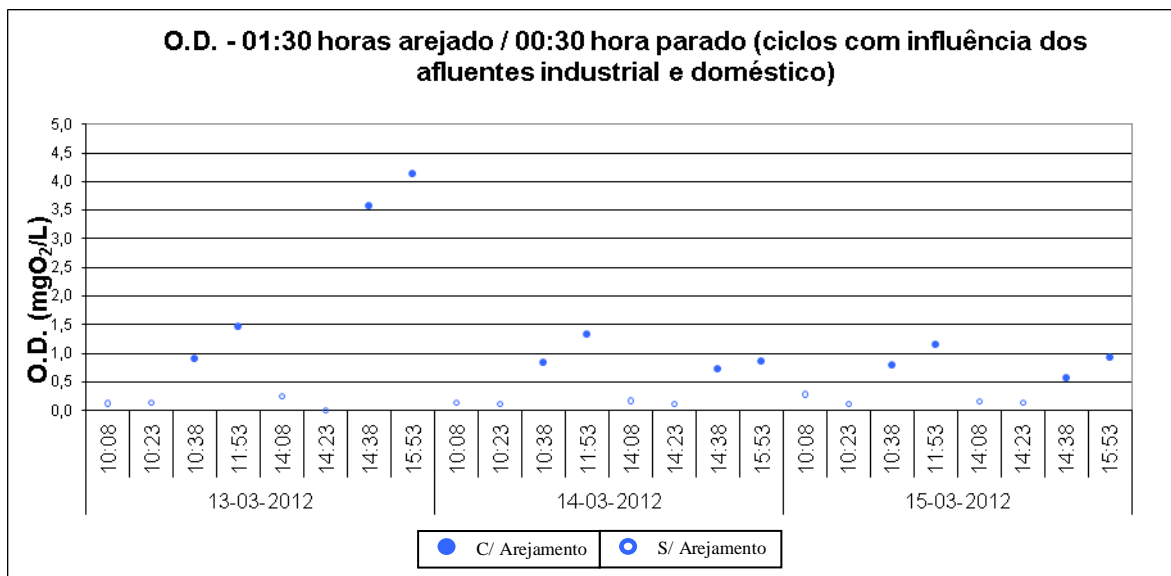


Figura 5.3 – Medições do OD diárias feitas com ciclos de 1 hora e meia com arejamento e meia hora sem arejamento, sob influência dos afluentes industrial e doméstico.

Partindo das anteriores verificações, tentou-se encontrar uma melhor gestão para o arejamento problemático durante o período de entrada do afluente industrial. Para isso ligou-se o arejador permanentemente durante um dia e fizeram-se medições horárias, obtendo-se o gráfico da Figura 5.4. Deste modo, foram colmatadas as necessidades de OD ao longo de todo o período ativo do tratamento físico-químico com entrada de afluente industrial no tanque, atingindo uma concentração média de OD de 2,26 mgO₂/L e registando-se apenas dois pontos abaixo de 1,5mgO₂/L.

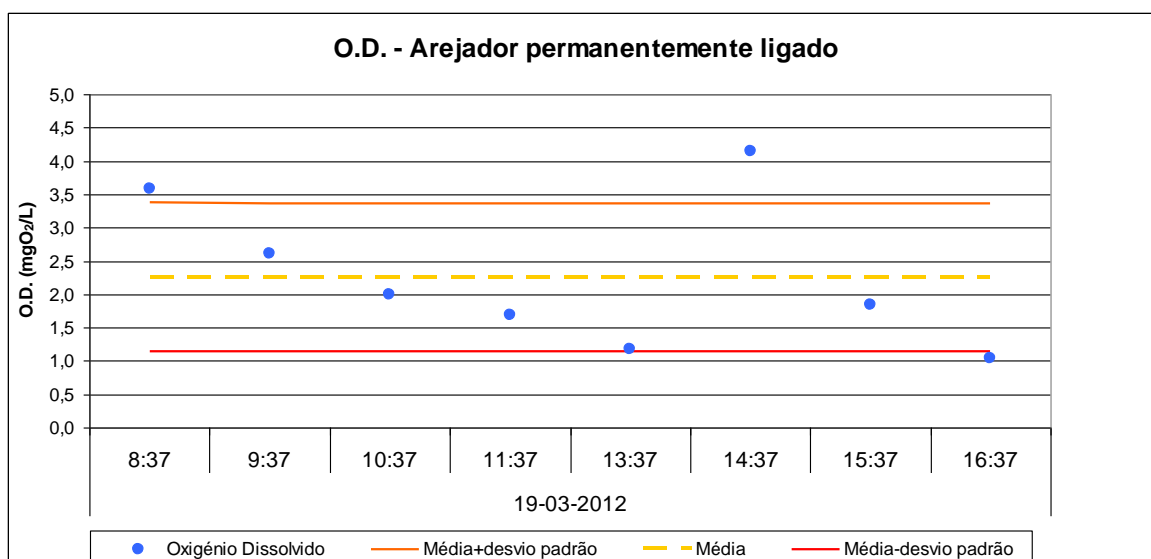


Figura 5.4 – Medições do OD feitas com arejamento permanente, sob influência dos afluentes industrial e doméstico.

Tendo-se verificado a necessidade de manter sempre ligado o arejador durante o período diurno, com a entrada de ambos os afluentes, restava então avaliar o comportamento dos ciclos de arejamento durante os períodos noturnos, apenas com entrada de afluentes domésticos. Tentou-se então fazer medições em períodos que apenas estivesse a ocorrer

influência do afluente doméstico nas leituras (neste caso em períodos da madrugada depois do fecho da ETAR). No gráfico da Figura 5.5 é apresentado o resultado destas medições efetuadas em 3 dias diferentes (com a junção dos dias 29 e 27 para fazer um dia inteiro de ciclos e poder assim identificar um padrão por comparação com o dia 28).

Observa-se que, de um modo geral os níveis de OD apenas com entrada de afluente doméstico são positivos, notando-se que nos dias 29 e 28 da parte da manhã a concentração de OD (s/ arejamento) é bastante satisfatória. Não se obtendo contudo, níveis desejáveis de OD (s/ arejamento) durante o final da tarde, talvez pelo facto de se fazer sentir a influência de um dia inteiro com entrada de afluentes industriais.

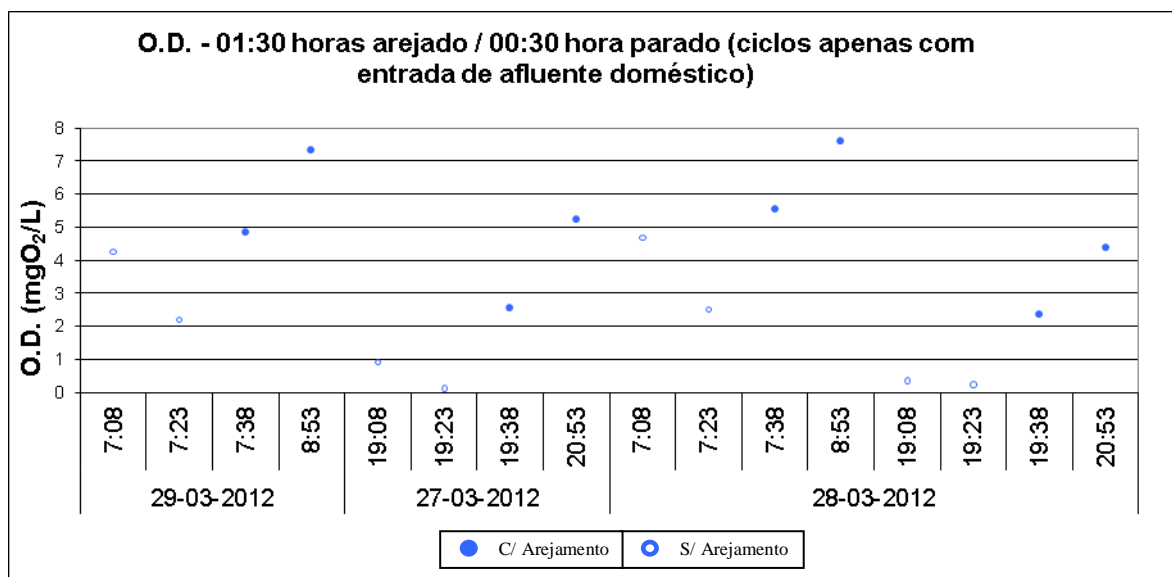


Figura 5.5 – Medições do OD diárias feitas com ciclos de 1 hora e meia com arejamento e meia hora sem arejamento, sob influência dos afluentes domésticos.

Se neste momento já estava identificado o modo de operar do arejador durante o dia, seguidamente tinha-se que estudar um modo de melhorar a gestão noturna do arejador, para reduzir os gastos energéticos. Aproveitando um dia em que não ocorreu o funcionamento do tratamento físico-químico, fizeram-se medições aos ciclos de arejamento durante grande parte deste dia, com a alteração do temporizador para meia hora com arejamento e meia hora sem arejar, obtendo-se o seguinte gráfico da Figura 5.6.

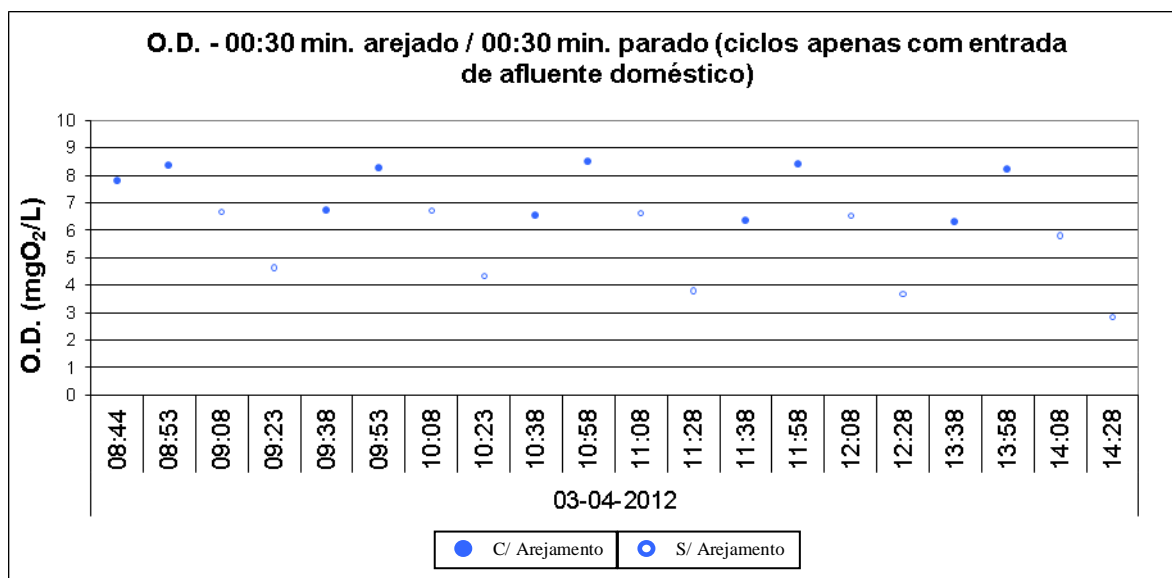


Figura 5.6 – Medições do OD feitas com ciclos de meia hora com arejamento e meia hora sem arejamento, sob influência do afluente doméstico.

Pode-se verificar que deste modo são largamente ultrapassadas as necessidades de OD no tanque, tendo-se até, depois reformulado o temporizador para meia hora com arejamento e 45 minutos sem arejar de modo descer os níveis de OD em todos os ciclos, e assim se poupar energia.

Infelizmente não puderam ser feitas as medições para visualizar o novo padrão dos ciclos de arejamento, pois não ocorreu a repetição de outro dia útil sem a entrada de afluente industrial.

Foram contabilizadas em horas por dia, todas estas alterações aos diferentes cenários encontrados e deste modo serem contabilizadas as poupanças monetárias relacionadas com os consumos energéticos.

Para a realização destes cálculos foi necessário fazer algumas considerações:

- Preço atualizado da energia elétrica = 0,082 € / kWh.
- 261 dias trabalhados e 104 dias não trabalhados por ano.
- Potência do moto-rotor no arejador = 15 kW

Aplicando a seguinte fórmula para cálculo dos custos energéticos anuais e tendo em conta as anteriores considerações apresenta-se no Quadro 5.4, o resumo de todos os cálculos.

$$\text{Custos Energéticos (€)} = \text{Tempo (h)} \times \text{Potência (kW)} \times \text{Preço energia (€ / kWh)}$$

Quadro 5.4 – Resumo cálculos da poupança económica para os diferentes cenários de arejamento.

	Cenário 1. (inicial)	Cenário 4. (intermédio)	Cenário (final)
Tempo com arejamento (h)	1 hora e meia (1,5)	meia hora (0,5)	meia hora (0,5)
Tempo sem arejamento (h)	meia hora (0,5)	meia hora (0,5)	¾ hora (0,75)
Total diário arejado (h/dia)	18	17,5	16
Total diário s/arejamento (h/dia)	6	6,5	8
Custos energéticos por ano (€/ano)	8.081€	7.153€	6.352€
Poupança económica por ano (€)		928€	1.729€

Com estas alterações no temporizador conseguiu-se reduzir em duas horas por dia os consumos de energia e obtendo-se assim uma poupança anual de 1.729€.

5.2.3 Conclusões

Com a realização deste estudo, foi possível retirar uma série de conclusões e considerações relevantes para a otimização no funcionamento da ETAR, mais concretamente nos ciclos diários de arejamento do tratamento biológico, que se resumem em:

- Ambos os tratamentos (físico-químico e biológico) apresentam bons valores médios de eficiência na remoção de CQO. Existindo uma maior eficiência na remoção da matéria orgânica biodegradável durante o tratamento biológico do que com o tratamento físico-químico, tendo vindo porém, a decrescer de ano para ano esta taxa de eficiência no tratamento biológico.
- As principais causas apontadas para este decréscimo na eficiência do tratamento biológico, prendem-se em parte, com o aumento gradual das concentrações de CQO do afluente industrial e outra parte demonstrada pela insuficiência dos desejáveis níveis de OD no tanque de lamas ativadas, promovido por uma incorreta programação do temporizador para a gestão dos ciclos de arejamento.
- Não se verificaram consideráveis diferenças de teor de OD nos quatro cantos do tanque, o que nos indica que o arejador “cobre” todo tanque.
- Concluiu-se que as concentrações de OD no tanque, eram muito influenciadas pela entrada de afluente industrial, sendo por isso necessário manter ligado continuamente o arejador durante todo o período diurno de operação do tratamento físico-químico, com a entrada de ambos os afluentes para o tanque biológico. Atingindo-se assim uma concentração média de OD de 2,26 mgO₂/L no tanque.
- Os teores de OD no tanque, apenas com a entrada de afluentes domésticos, revelaram-se bastante satisfatórios para ciclos de arejamento de 1 hora e meia a arejar e meia hora sem arejamento. Contudo no sentido de encurtar os períodos de arejamento diários, alterou-se o temporizador para fazer ciclos de arejamento, para os períodos em que não ocorre tratamento físico-químico, com meia hora arejado e meia hora sem arejamento. Tendo-se atingido assim, valores tão elevados, que não trouxeram qualquer mais-valia para as operações de oxidação (Metcalf & Eddy, 2004), reformularam-se os períodos para meia hora com arejamento e 45 minutos

sem arejar, de modo a baixar os pontos máximos e mínimos registados no anterior cenário 30-30 minutos.

- Não foi possível comprovar estas descidas, por isso recomenda-se que assim que haja outra oportunidade sejam repetidas as medições, e no limite, seja até aumentado o período sem arejamento.
- Com uma correta gestão dos ciclos de arejamento consegue-se obter grandes poupanças energéticas e por conseguinte monetárias. Tendo-se neste caso conseguido uma economia anual de 928€ e 1.729€, para os dois cenários propostos.

6 Avaliação económico financeira das propostas de reutilização de efluentes

6.1 Aproveitamento do ROI para atesto das torres de refrigeração

Neste caso específico, considerou-se um investimento inicial nulo, visto as recentes alterações feitas terem acarretado custos muito diminutos e já existirem anteriormente todas as onerosas infraestruturas como: o depósito, o sistema de bombagem e rede de ligação (desde o ponto de rejeição até ao reservatório). Não podendo ser assim calculado qualquer *payback*, ou por outras palavras, o número de anos que é necessário esperar para reaver todo o capital investido inicialmente.

Para o cálculo da economia anual gerada tiveram que se considerar as receitas geradas pela poupança de água captada do furo e os custos de exploração associados a esta ação de reaproveitamento.

Como custos de exploração anuais, temos apenas os custos energéticos resultantes da bombagem do ROI até ao depósito.

$$\text{Custos Energéticos (€)} = \text{Tempo (h)} \times \text{Potência (kW)} \times \text{Preço Energia (€ / kWh)}$$

Para a realização destes cálculos foi necessário fazer algumas considerações e estimativas como:

- Preço atualizado da energia elétrica = 0,082 € / kWh.
- Horas de funcionamento da OI por ano = 6.257 h.
- Potência = 0,75 kW

Resultando num custo de exploração anual de 385 €/ano.

Como receitas geradas pela poupança de água captada do furo, por substituição de ROI, temos os custos associados ao processo de desferrização e os custos referentes às licenças de captação dos recursos hídricos, cobradas pela AdRA, por cada m³ de água fresca poupada do furo.

Estas receitas foram calculadas, sendo estimados os custos poupados em:

- Custos de desferrização/m³ de água captada = 0,25€/m³
- Custos das licenças de captação de recursos hídricos/m³ de água captada = 0,01€/m³

Antes das alterações feitas ao atesto nas torres com recurso ao ROI os consumos médios diários de atesto, com água industrial, andavam próximos dos 36 m³/dia. Após a ligação e ativação de todo o sistema de reaproveitamento de ROI no atesto, os consumos médios diários de atesto, referentes à parte da água industrial, decresceram para os 27,8 36 m³/dia.

No Quadro 6.1 estão resumidos os valores calculados para um ano completo (365 dias), e a resultante poupança de água captada

Quadro 6.1 – Consumos antes e depois do reaproveitamento do ROI e poupança anual de água fresca

	Antes reaproveitamento ROI	Depois reaproveitamento ROI
Consumo médio diário (m ³ /dia)	36	27,8
Consumo total anual (m ³ /ano)	1.3140	10.147
Poupança anual de água captada (m ³ /ano)	2.993	

Assim obtém-se como receitas geradas pela poupança de água fresca do furo:

- Receitas poupança anual desferrização (€/ano): 2.993 (m³/ano) x 0,25 (€/m³) = 748 €/ano
- Receitas poupança anual taxas de captação AdRA (€/ano): 2.993 (m³/ano) x 0,01 (€/m³) = 30 €/ano

Resultando numa economia anual gerada de:

$$(748 \text{ €/ano} + 30 \text{ €/ano}) - 385 \text{ €/ano} = 393 \text{ €/ano}$$

Neste cenário a economia anual monetária gerada é bastante reduzida, tendo em conta a dimensão da fábrica, contudo neste capítulo está apenas a ser contabilizada a parte monetária envolvida, não sendo contabilizados os benefícios ambientais resultantes da poupança de cerca de 3.000 m³/ano de água do furo.

6.2 Aproveitamento do efluente da ETAR para rega paisagística

Para efetuar os cálculos da análise económico-financeira para o reaproveitamento de ART para rega foi necessário pedir orçamentos a empresas externas, de forma a contemplar todas as alterações necessárias aos tratamentos adicionais, de toda a parte civil e elétrica, preconizadas nos capítulos 4.3.5. e 4.3.6.

O Quadro 6.2 resume os investimentos iniciais e respetivos orçamentos. Os valores foram calculados sem IVA pois a empresa consegue recuperar todo este valor.

Quadro 6.2 – Investimentos iniciais necessários para o reaproveitamento.

Tipo de custos de investimento	Valor (€) (S/IVA)
Tratamentos adicionais efluente da ETAR	89.750
Alterações da parte civil	12.980
Alterações da parte elétrica	40.600
Total dos investimentos	143.330

O Quadro 6.3 resume a disponibilidade média anual (2009, 2010 e 2011) de efluente para rega durante os 7 meses com maiores necessidades hídricas, resultando num valor aproximado de 15.500 m³/ano.

Quadro 6.3 – Disponibilidade total média do efluente de Abril a Outubro.

Média das disponibilidades de efluente para os 7 meses de rega (m³/ano)	15.458 ± 1.914
Máximo (m³/ano)	17.310
Mínimo (m³/ano)	13.487

Como custos de exploração anuais, foram considerados os custos energéticos, a adição de ácido sulfúrico (para a quebra ácida), possível incremento de cal hidratada e soda caustica (para acerto do pH), adição de um coagulante e um agente oxidante (na filtração) e a adição de ozono (na desinfeção).

No orçamento dos tratamentos adicionais não estava disposto nenhum valor aproximado de referência para os custos de exploração, tendo sido por isso estimado um valor total de 0,5 €/m³ de efluente a tratar.

Resultando num custo total de exploração anual de:

$$15.500 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,5 \text{ €/m}^3 = 7.750 \text{ €/ano}$$

Como receitas geradas pela poupança de água captada do furo, por substituição com ART da ETAR, tem-se os custos associados ao processo de desferrização, os custos referentes às licenças de captação dos recursos hídricos, cobradas pela AdRA, por cada m³ de água fresca poupada do furo e os custos referentes à tarifa de rejeição de efluente da ETAR cobrado pela SIMRIA.

Estas receitas foram calculadas, sendo estimados os custos poupados em:

- Custos de desferrização/m³, de água captada = 0,25€/m³
- Custos das licenças de captação de recursos hídricos/m³, de água captada = 0,01€/m³
- Custos da tarifa de rejeição/m³, de efluente da ETAR = 1,6982 €/m³

O cálculo do total de poupanças anuais geradas com o projeto considerando um valor anual de efluente em cerca de 15.500 m³/ano e os custos acima descritos, é apresentado no Quadro 6.4.

Quadro 6.4 – Total de poupanças anuais.

Tipo de poupança anual	Valores (€/ano)
Custos de desferrização água captada	3.875
Custos das licenças de captação de recursos hídricos	172
Custos da tarifa de rejeição do efluente da ETAR	26.322
Total de poupanças anuais	30.369

Resultando numa economia anual gerada de:

$$30.369 \text{ €/ano} - 7.750 \text{ €/ano} = 22.619 \text{ €/ano}$$

- Fazendo o cálculo ao *payback*, obtemos:

$$143.330 \text{ €} / 22.619 \text{ €/ano} = 6,3 \text{ anos}$$

Seriam necessários portanto, aproximadamente, 6 anos e 4 meses, para reaver todo o capital investido inicialmente. Sendo geralmente considerados viáveis, períodos de retorno até 10 anos para investimentos ambientais, economicamente este seria um projeto vantajoso.

Desconhecendo no entanto, os *paybacks* mínimos para a viabilidade de investimentos ambientais na Renault C.A.C.I.A.

Entende-se por valor atualizado líquido (VAL) como o valor presente de um determinado projeto (custos e receitas associadas, incorporando a passagem do tempo), que é calculado em função do seu investimento inicial (I_0) e do somatório dos fluxos de caixa futuros/ *cash-flows* (CF's), (que neste caso é a economia gerada anualmente), de uma taxa de atualização (r) (que se entende como a melhor alternativa para aplicar aquele dinheiro do investimento) e do tempo de vida útil do projeto (n).

$$VAL = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i}$$

Neste caso em concreto, decidiu-se adotar uma taxa de atualização de 10% de forma a refletir por excesso a inflação e o retorno esperado em investimentos alternativos da Renault C.A.C.I.A. O período de vida útil utilizado para o cálculo do VAL foi de 15 anos, uma vez que se estima que este seja o período de vida em que o projeto decorrerá sem sofrer alterações. Por sua vez os fluxos de caixa do projeto são constantes (22.619 €/ano) uma vez que foi determinado um caudal médio anual fixo (15.500 m³/ano) de ART.

Assim calculou-se um VAL de 28.714 €, o que permite concluir que o projeto é rentável, capaz de pagar todo o investimento inicial de 143.330 € e gerar uma poupança anual de 22.619€, mesmo tendo-se considerado uma taxa de atualização dos fluxos de caixa ambiciosa de 10%.

7 Conclusões finais

O desenvolvimento dos estudos efetuados na prossecução dos objetivos estabelecidos no âmbito do estágio realizado na RENAULT C.A.C.I.A. permitiu obter as seguintes conclusões:

- Do cruzamento entre disponibilidades/necessidades e compatibilidade qualitativa entre os diferentes pontos de consumo e rejeição, identificaram-se como potenciais pontos de reaproveitamento o ROI como complemento ao atesto das torres de refrigeração (juntamente com a água industrial) e a recuperação do efluente da ETAR para rega dos espaços verdes.
- A reutilização dos ROI, traduz-se, do ponto de vista ambiental numa poupança de aproximadamente 3.000 m³/ano de água fresca do furo, significando até 27% da totalidade da água usada para atesto, para as razões de mistura estudadas.
- A utilização dos efluentes tratados na ETAR como água de rega das zonas ajardinadas, durante 7 meses do ano, traduz-se numa poupança de cerca de 15.500 m³/ano de água fresca captada a partir do furo e de diminuição de rejeições para o coletor de esgotos municipais de uma quantidade equivalente, sendo 50% do valor atual numa base anual.
- Tendo o grupo RENAULT como meta até 2016 uma redução de 30% no consumo total anual de água em cada fábrica (relativamente ao valor consumido em 2010), com a reutilização do ROI e a recuperação do efluente da ETAR para rega, a unidade da RENAULT C.A.C.I.A. atingiria 71% do objetivo, equivalente a uma redução de aproximadamente 18.500m³ face aos 26.000m³ pretendidos.
- Uma boa gestão dos ciclos diários de arejamento, para otimização do tratamento biológico na ETAR, pode gerar poupanças energéticas e monetárias interessantes, traduzindo-se em cerca de 1.700€ anuais
- Com a reutilização do ROI no atesto das torres de refrigeração, para além das mais valias ambientais, ainda é gerada uma economia anual de 393€, após o desconto de todos os gastos de exploração associados.
- Com a utilização dos efluentes da ETAR na rega das zonas verdes, são necessários 143.300€ de investimento total, prevendo-se um *payback* de 6 anos e quatro meses, bem como um VAL de 28.714 € com um horizonte de projeto de 15 anos, sendo considerada uma taxa de atualização dos fluxos de caixa de 10%, o que permite prever uma economia anual gerada de 22.619€.

Concluindo por fim que, mantendo as políticas contínuas para o uso mais eficiente da água da fábrica, quer através da busca de novas medidas de otimização dos consumos em todas as diferentes áreas (industriais, domésticas, rega, etc.), quer da implementação dos projetos estudados aqui apresentados, quer da procura de novas fontes potenciais para o reaproveitamento de efluentes; a Renault C.A.C.I.A. facilmente poderá atingir a sua meta de redução em 30% do consumo geral da água até 2016, beneficiando ainda de todos os atrativos ambientais e económicos encontrados.

8 Referências bibliográficas

- Asano, T., Burton, H., Tsuchihashi; Tchobanoglous, G, (2007), Water Reuse – Issues: Technologies and Applications, New York, Mc Graw-Hill.
- Baptista, J., Almeida, M., Vieira, P., Silva, A., Ribeiro, R., Fernando, R., Serafim, A., Alves, I., Cameira, M., (2001), Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, LNEC/ISA, Lisboa.
- C.A.C.I.A., (2007), Apresentação CACIA: Apresentação Interna da Renault CACIA.
- C.A.C.I.A., (2008), Declaração Ambiental 2008, Brochura Institucional da Declaração Ambiental da Renault CACIA.
- C.A.C.I.A., (2009), Formação - Responsáveis máquinas de lavar, Formação Interna da Renault CACIA.
- C.A.C.I.A., (2011), Brochura institucional da Renault CACIA, Renault CACIA.
- C.A.C.I.A., (2012a), Apresentação interna Renault CACIA, Apresentação Interna da Renault CACIA.
- C.A.C.I.A., (2012b), Formação - Óleos de Corte e Tecnologias de Filtração, Formação Interna da Renault CACIA.
- Correia, J., (1999), Algumas Tendências Actuais da Gestão dos Recursos Hídricos, em A Agricultura Portuguesa, a água e o Ambiente., Lisboa.
- Harivandi, M., (2004), Evaluating recycled waters for golf course irrigation, Green section record, 25-29
- Hespanhol, I.; Mierzwa, J., Rodrigues, L., Silva, M., (2007), Manual de conservação e reuso de água na indústria, Rio de Janeiro, CIRRA/IRCWR.
- Ingersoll-Rand, Centac Centrifugal Air Compressor Operation Manual, Ingersoll-Rand.
- IPQ, (2006), NP 4434-Norma Portuguesa sobre Reutilização de Águas Residuais Urbanas Tratadas na Rega, Instituto Português da Qualidade, Monte da Caparica.
- IRAR, (2007), Recomendação IRAR nº02/2007, Utilização de águas residuais tratadas, IRAR, Lisboa.
- Mancuso, P., (2001), Reuso de Água para Torres de Resfriamento, São Paulo, Biblioteca Virtual da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.
- Mancuso, P., Manfredini, B., (2005), Reuso de água em sistema de resfriamento, Estudo de caso: subestação conversora de energia furnas centrais eléctricas, in AIDIS, Asunción, Paraguai.

- Mano, A., Pombo, S., Barros, L., (2006), Reutilização de Água Residual Urbana Tratada para Rega, in 8º Congresso Nacional da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Figueira da Foz.
- Martins, A., Freire, J., Sousa, J., Ribeiro, A., (2007), Potencialidades de Reutilização de Águas Residuais para Rega de Campos de Golfe na Região do Algarve, Águas do Algarve, Faro.
- Metcalf & Eddy, I., (2004), Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (4th Edition), New York, McGrawHill.
- Marecos Do Monte, M., Albuquerque, A., (2010), Reutilização de Águas Residuais: Série guias técnicos 14, ISEL/ERSAR, Lisboa.
- Raposo, J., (1989), A rega em Portugal, Secretaria de Estado da Agricultura, Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, Lisboa.
- Rebola, M., (2004), Manual AquaAmbiente - Tratamento de água potável, Aqua-Ambiente, Rio de Mouro.
- Renault, (2012), Renault Kit de Présentation, Renault Corporate.
- Sala, L., Millet, X., (1997), Aspectos Básicos de la Reutilización de las Aguas Residuales Regeneradas para el Riego de Campos de Golf, Consorci de La Costa Brava, Girona.
- Santos, M., (2008), Reutilização de Águas Residuais Urbanas Tratadas, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- SNIRH, (2012), Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos, Dados pluviométricos mensais consultado em 06/01/2012, disponível em <http://snirh.pt>.
- Unesco, (2012), Water and Industry, consultado em Outubro de 2012, disponível em http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts_figures/water_industry.shtml.
- United Nations, (1992), Earth Summit Agenda 21, documento apresentado em The United Nations Programme of Action from Rio, disponível em <http://www.un-documents.net/agenda21.htm>

Anexo I – Figuras e Quadros Informativos



Figura I.1 – Planta do espaço fabril (C.A.C.I.A., 2007).

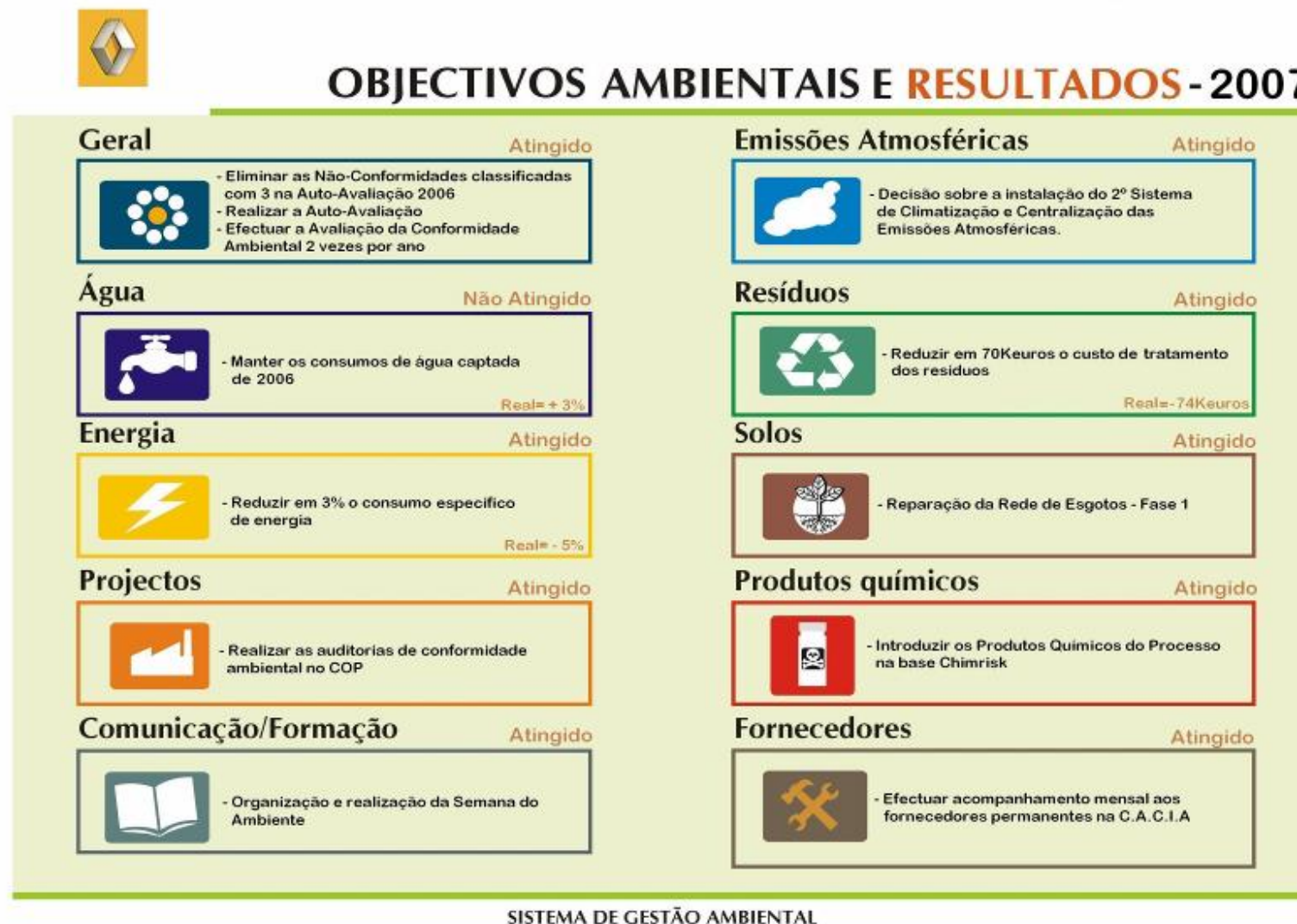


Figura I.2 – Objetivos Ambientais e resultados SGA (C.A.C.I.A., 2007).

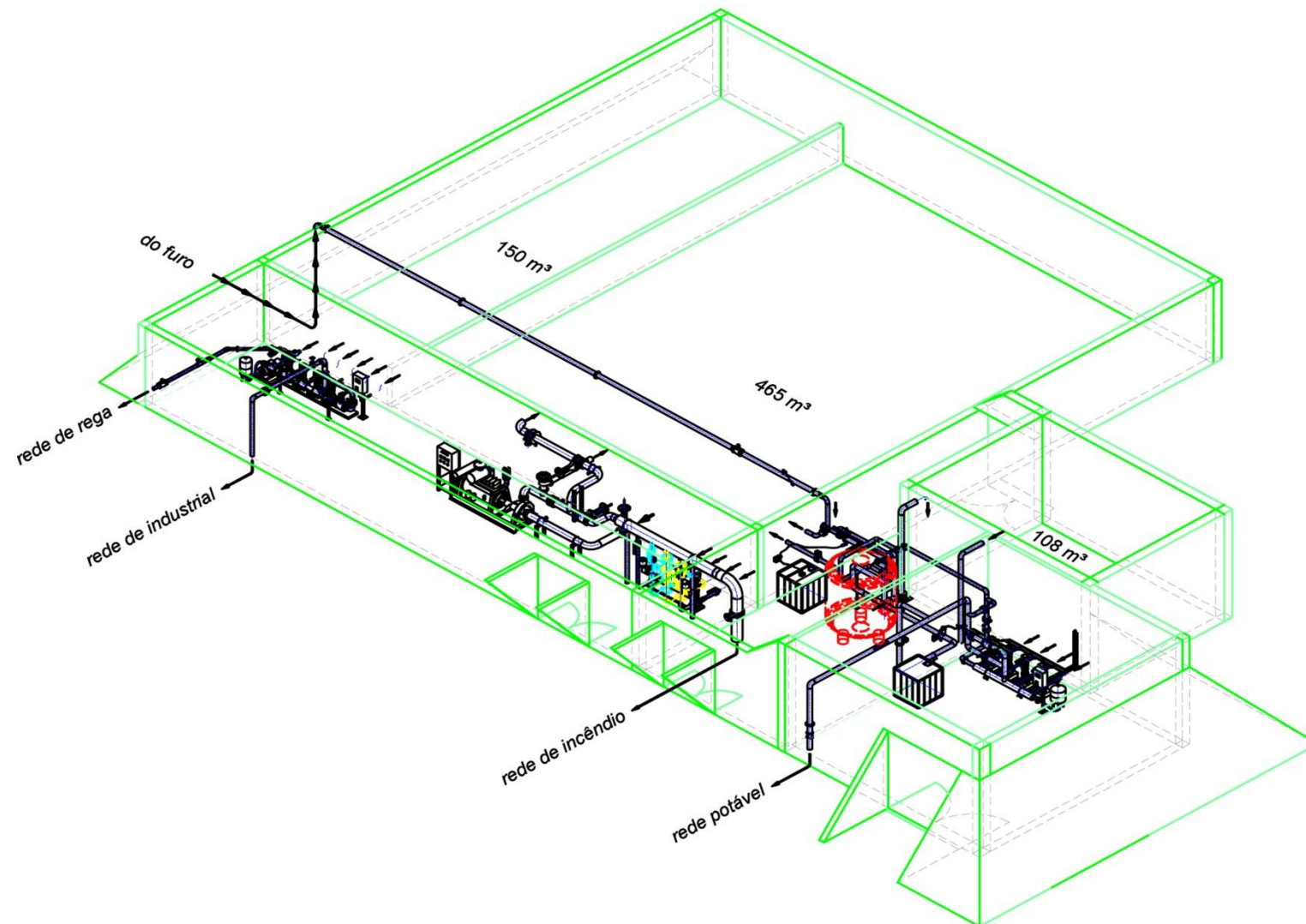


Figura I.3 – Cisternas de água e sistema de bombagem. (RENAULT C.A.C.I.A.)

Quadro I.1 – Centrais de Óleo de Corte e de Centrais de Lavagem. (RENAULT C.A.C.I.A.)

Centrais	C1	C2	C3	C4	C5	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C14	C15	C16	C17
Capacidade (m³)	30	50	52	106	48	35	75	40	95	155	25	10	7	7	58
Filtração	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Pap.+Hy	Papel	Papel	Papel	Tela+Papel
Débito máximo (m³/h)	170	345	480	720	420	130	255	130	250	750	N/d	140	70	70	280
Material Maquinado / Lavar	FeF	Al	Al	FeF/Aço	FeF	FeF	Al	FeF/Aço	Aço	Al	Ensaio Cx.	Al	Al	Al	FeF/Aço
Concentração %	6 - 8	A-3-5 O-6-8	11 - 13	5 - 7	5 - 7	6 - 8	A-3-5 O-6-8	4 - 6	S/S	A-3-5 O-6-8	S/S	1 - 3	1 - 3	1 - 3	1 - 3
Tipo de óleo / detergente	HS3	HS3	HS3	HSU1	HSU1	HS3	HS3	HSU1	Óleo inteiro	HS3	Óleo inteiro	S/S	S/S	S/S	S/S
Processo maquinação	Maquinação Geral	Maquinação Geral	Maquinação Ferram. Mapal	Torneamento Fresagem Furação Rectificação	Torneamento Fresagem Furação Rectificação	Maquinação Geral	Maquinação Geral	Torneamento Fresagem Furação Rectificação	Talhagem Brochagem Roscagem Shaving	Maquinação Geral	Montagem	Lavagem	Lavagem	Lavagem	Lavagem

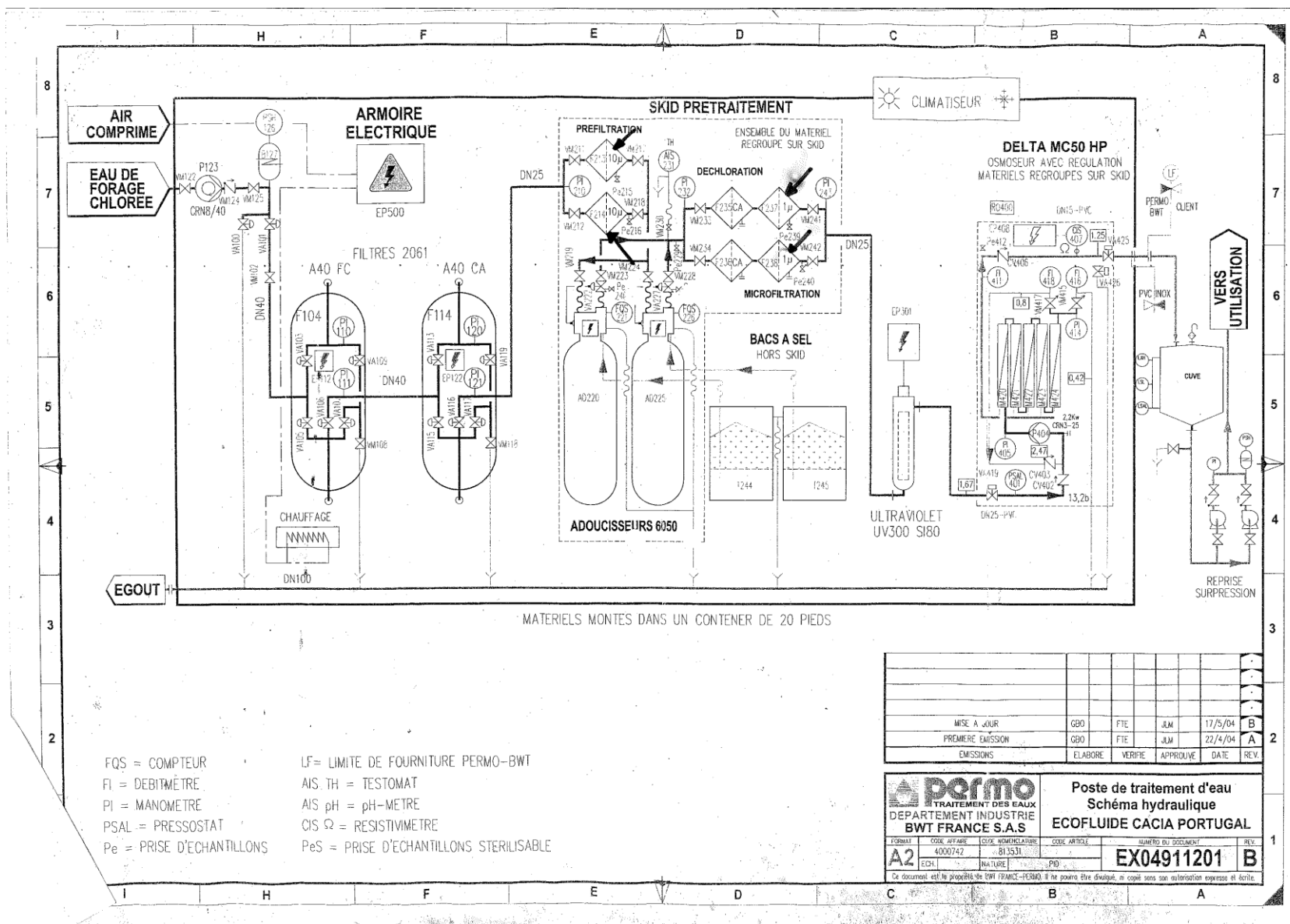
- Centrais inactivas
- Centrais de óleo solúvel (emulsão plena)
- Centrais de óleo solúvel (emulsão semi sintética)
- Centrais de óleo inteiro (não solúvel)
- Centrais de lavagem
- Pap.+Hydac Filtração com papel e filtro de segurança Hydac

Quadro I.2 – Consumos gerais da fábrica, 2009 a 2011.

Ano	2009					2010					2011				
Mês	Industrial (m ³)	Potável (m ³)	Rega (m ³)	Incêndios (m ³)	Desferrização (m ³)	Industrial (m ³)	Potável (m ³)	Rega (m ³)	Incêndios (m ³)	Desferrização (m ³)	Industrial (m ³)	Potável (m ³)	Rega (m ³)	Incêndios (m ³)	Desferrização (m ³)
Jan	2508	913	0	219	336	3621	1095	0	19	500	3429	1230	0	66	813
Fev	2198	850	0	241	303	2821	1050	0	-6	553	3339	1138	0	99	780
Mar	2560	1032	1	242	336	3817	1208	0	198	358	3947	1250	0	-9	943
Abr	2445	1028	26	210	325	3511	1048	31	310	423	3427	1181	43	-39	845
Mai	2668	992	1582	317	336	3635	1010	2780	36	910	3518	1458	1350	651	910
Jun	3188	1131	2704	403	325	3678	1004	4881	238	553	4069	1383	2862	279	943
Jul	3116	1080	4047	339	336	3392	1193	5284	408	455	4279	1226	2837	244	910
Ago	2677	681	5138	505	553	2795	703	6439	528	423	3621	924	2967	24	943
Set	3801	995	3557	273	423	3332	1204	2683	238	585	4324	1300	2212	202	975
Out	3755	1015	1519	221	455	3684	1320	219	142	813	4353	1180	2554	15	1008
Nov	3013	976	0	68	423	4059	1136	0	69	845	3469	1210	0	-34	910
Dez	2457	865	0	22	455	3237	914	0	-405	910	2499	948	3	33	943
Total/Sector	34.386	11.558	18.574	3.060	4.606	41.582	12.885	22.317	1.773	7.325	44.274	14.428	14.828	1.530	10.920
Total	72.183					85.882					85.980				
%	47,6%	16,0%	25,7%	4,2%	6,4%	48,4%	15,0%	26,0%	2,1%	8,5%	51,5%	16,8%	17,2%	1,8%	12,7%
Média	2866	963	1548	255	384	3465	1074	1860	148	610	3690	1202	1236	127	910
Mediana	2673	994	773	242	336	3566	1073	125	170	553	3570	1218	697	49	926
Desvio Padrão	517	121	1878	131	76	377	162	2462	238	203	536	153	1347	197	66
Mínimo	2198	681	0	22	303	2795	703	0	-405	357,5	2499	924	0	-39	780
Máximo	3801	1131	5138	505	553	4059	1320	6439	528	910	4353	1458	2967	651	1008

* Valores Totais de 2009 e 2011 com os valores da água da companhia incluída (23 m³ e 216 m³ respetivamente).

Figura I.4 – Layout do sistema de desmineralização. (RENAULT C.A.C.I.A.)



Quadro I.3 – Dados base considerados no dimensionamento da ETAR. (RENAULT C.A.C.I.A.)

Parâmetros	Valor Dimensionado
População equivalente (hab.eq)	2000
Caudal dos efluentes industriais (m ³ /dia)	100
Caudal dos efluentes domésticos (m ³ /dia)	80-100
Caudal médio diário (m ³ /dia)	200
Caudal médio horário (16h/dia) (m ³ /h)	12,5
Caudal horário de ponta (8h/dia) (m ³ /h)	25
CQO do afluente (mgO ₂ /L)	2000-5000
Carga orgânica (kg/dia)	108
CBO ₅ médio do afluente (20°C) (mgO ₂ /L)	540
CBO ₅ médio efluente tratado (20°C) (mgO ₂ /L)	30
Carga orgânica do efluente tratado (Kg/dia)	6
Carga orgânica a eliminar (kg/dia)	102
Rendimento do tratamento (%)	94,4

Quadro I.4 – Características das águas residuais que mais afectam o biossistema solo-planta (Monte & Albuquerque, 2010).

Característica	Parâmetro de avaliação	Efeito
Salinidade/Sais inorgânicos dissolvidos.	SDT. Condutividade eléctrica. Iões específicos (Na, Ca, Mg, Cl, B).	A elevada salinidade prejudica o bom desenvolvimento de muitas plantas; alguns iões podem ser tóxicos para as plantas (Na, B, Cl); o Na pode induzir problemas de permeabilidade no solo.
Sólidos em suspensão.	SST (SSF+SSV).	Concentrações elevadas de SST podem provocar entupimentos nos equipamentos de rega.
Matéria orgânica biodegradável.	CBO, CQO.	Em efluentes tratados o teor de matéria orgânica em geral não causa problemas.
Compostos orgânicos refractários.	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados).	Resistem aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos ⇒ a sua presença pode ser limitativa da utilização do efluente para rega.
Nutrientes	N (N-org + N-NH ₄ + N-NO ₂ + N-NO ₃) P, K.	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas ⇒ a sua presença normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicados no solo em quantidades excessivas podem induzir a poluição das águas subterrâneas.
Actividade hidrogeniónica.	pH.	O pH das águas residuais afecta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais pesados.	Elementos específicos (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn).	Alguns acumulam-se no solo ou nas plantas e são tóxicos para as plantas e animais ⇒ podem constituir factor limitante à utilização de águas residuais.
Cloro residual.	Cl livre. Cl combinado.	Teores excessivos de cloro livre podem causar queimaduras nas folhas. O cloro combinado não causa problemas.
Microrganismos patogénicos.	Coliformes fecais. Helmintas. Organismos indicadores.	Transmissão de doenças

Quadro I.5 – Tolerância de plantas de ornamentação paisagística à salinidade (Monte & Albuquerque, 2010) (adaptado de (T. Asano et al., 2007))

Nome comum	Nome botânico	Tolerância à salinidade					
		Muito sensível	Sensível	Medianamente sensível	Medianamente tolerante	Tolerante	Muito tolerante
Pinheiro do alepo	<i>Pinus halepensis</i>				✓		
Aradeira	<i>Hedera canariensis</i>		✓				
	<i>Cordyline indivisa</i>				✓		
Buganvillea	<i>Bougainvillea spectabilis</i>					✓	
Mirtilo vermelho	<i>Syzygium paniculatum</i>					✓	
Abrunheiro dos jardins	<i>Prunus cerasifera</i>			✓			
Rosa da china	<i>Hibiscus Rosa-sinensis</i>		✓				
Vassoura-vermelha	<i>Dodonaea viscosa</i>			✓			
Palmeira das vassouras	<i>Chamaerops humilis</i>				✓		
Abélia	<i>Aelia x grandiflora</i>		✓				
Alfenheiro do Japão	<i>Ligustrum lucidum</i>			✓			
Avenca japonesa	<i>Nandina domestica</i>		✓				
Pinheiro-manso	<i>Pinus pinea</i>					✓	
Pinheiro preto japonês	<i>Pinus thunbergiana</i>			✓			
Buxo	<i>Buxus microphylla var. japonica</i>			✓			
Fala da Holanda	<i>Pittosporum tobira</i>		✓				
Folhado dos Açores	<i>Viburnum Tinus</i>		✓				
Karanda	<i>Carissa grandiflora</i>					✓	
Bauhinia-de-hong-kong	<i>Bauhinia purpurea</i>			✓			
Loendro	<i>Nerium oleander</i>				✓		
Maónia	<i>Mathonia aquifolium</i>	✓					

Nome comum	Nome botânico	Tolerância à salinidade					
		Muito sensível	Sensível	Medianamente sensível	Medianamente tolerante	Tolerante	Muito tolerante
Biota da China	<i>Platycladus orientalis</i>			✓			
Photinia	<i>Photinia x fraseri</i>	✓					
Golaba-serrana	<i>Felodja Sellowiana</i>		✓				
Cacto-margarida	<i>Lamprathus productus</i>						✓
Espinho de Fogo	<i>Pyracantha fortuneana</i>			✓			
Roseira	<i>Rosa sp.</i>		✓				
Alecrim	<i>Rosarinus officinalis</i>				✓		
Magnólia	<i>Magnolia grandiflora</i>			✓			
Evónio dos jardins	<i>Euonymus japonica</i>				✓		
Jasmim estrelado	<i>Trachelospermum jasminoides</i>	✓					
Medronheiro	<i>Arbutus Unedo</i>		✓				
Liquidambar da América	<i>Liquidambar styraciflua</i>				✓		
Oleagno	<i>Elaeagnus pungens</i>			✓			
Tulipeiro	<i>Liliodendron Tulipifera</i>		✓				
Callistemon	<i>Callistemon viminalis</i>				✓		
Cambará	<i>Lantana camara</i>			✓			

Quadro I.6 – Tolerância de relvados à salinidade (Monte & Albuquerque, 2010) (adaptado de (Sala & Millet, 1997))

CE da água de rega (dS/m)	Espécies de relva	Tolerância
3 – 8	<i>Synodon dactylon</i> <i>Zoysia spp.</i> <i>Agrostisstolonifera</i> <i>Festuca arundinacea</i> <i>Lolium perene</i> <i>Festuca rubra var. tricophilla</i>	Tolerante
0,7 – 3	<i>Festuca rubra var. rubra</i> <i>Festuca rubra var. commutata</i> <i>Festuca ovina</i> <i>Agrophirum smithii</i>	Medianamente tolerante
0,7	<i>Poa pratensis</i> <i>Poa trivialis</i> <i>Poa annua</i> <i>Agrotis tenuis</i>	Sensível

Quadro I.7 – Processos de tratamento mais utilizados para a remoção de classes de poluentes em águas residuais tratadas para a reutilização (Monte & Albuquerque, 2010) (adaptado de (T. Asano et al., 2007))

Processo de tratamento	Classe de constituintes									
	Sólidos em suspensão	Matéria coloidal	Matéria orgânica	Matéria orgânica	Azoto	Fósforo	Compostos vestigiais	Sólidos dissolvidos	Bactérias	Vírus
Tratamento secundário										
Lamas activadas	✓		✓	✓	✓					
Leitos percoladores	✓		✓	✓	✓					
Discos biológicos	✓		✓	✓	✓					
Coagulação química, Flotação ou Decantação	✓	✓	✓							
Filtração granular	✓		✓							
Tamisação	✓		✓							
Reactor de membranas	✓		✓	✓	✓					
Lagoas de estabilização	✓		✓	✓	✓					
Leitos de macrófitas	✓		✓	✓	✓					
Tratamento terciário										
Lamas activadas				✓	✓	✓				
Filtros biológicos	✓			✓	✓	✓				
Reactor de membranas	✓			✓	✓	✓	✓			
Lagoas de macrófitas	✓			✓	✓	✓	✓			
Tratamento avançado										
Microfiltração	✓	✓	✓						✓	
Ultrafiltração	✓	✓	✓						✓	✓
Flotação com ar dissolvido	✓	✓	✓							
Nanofiltração			✓	✓			✓	✓	✓	✓
Osmose inversa				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Adsorção com carvão activado				✓			✓			
Permuta iónica					✓		✓	✓		
Desinfecção				✓					✓	✓

Quadro I.8 – Comparação da eficiência de inactivação de patogénicos (Monte & Albuquerque, 2010)

TIPO	MÉTODO	Actividade contra			
		Bactérias	Vírus	Parasitas	Protozoa
Físico	UV Radiação	+++	+(+)	+(+)	+(+)
	Filtração		-	++	
	MF	+++	+	+++	+++
	UF	+++	+++	+++	+++
	NF	+++	+++	+++	+++
	OI	+++	+++	+++	+++
	RED	+	+	+	+
Químico	Cloro	+++	+(+)	-	-
	Acido Peracético	+++	++	-	-
	Ozono	+++	+++	-	-
Físico- -Químico	Coagulação/Floculação	+++	+(+)	++	++
	Sedimentação	-	-	+	-
	Neutralização				
	Cloragem	+++	+++	+	++
Físico- -Biológico	Infiltração – Percolação	+++	++	+++	+++
Lagoas		+++	+	+++	++

- Sem acção; + Actividade Moderada; ++ Actividade Média; +++ Actividade Alta

Quadro I.9 – Efeitos das características dos efluentes tratados na eficiência da desinfecção por cloro, por U.V. e por ozono (Monte & Albuquerque, 2010) (adaptado de (T. Asano et al., 2007))

Parâmetro	Cloro	UV	Ozono
CBO, CQO, COT	Aumenta a necessidade de cloro, em função da estrutura das moléculas orgânicas e dos grupos funcionais.	Sem efeito, salvo se a matéria orgânica for predominantemente húmica.	Aumenta a necessidade de ozono, em função da estrutura das moléculas orgânicas e dos grupos funcionais.
Substâncias húmicas	Redução da eficiência da cloração e formação de compostos organoclorados.	Absorvem grande parte da radiação UV, com redução da eficiência da desinfecção.	Afecta a taxa de decomposição do O ₃ e a demanda de ozono.
Sólidos em Suspensão	Servem de escudo de protecção aos microrganismos envolvidos nos SS.	Absorvem radiação UV e servem de escudo de protecção aos microrganismos envolvidos nos SS.	Aumentam a necessidade de O ₃ e servem de escudo de protecção aos microrganismos envolvidos nos SS.
Óleos e gorduras	Pode aumentar a necessidade de cloro.	Acumula-se sobre as lâmpadas de UV e absorve radiação.	Pode aumentar a necessidade de O ₃ .
Alcalinidade	Não afecta.	Pode aumentar o potencial de incrustações sobre as lâmpadas. Afecta a solubilidade dos metais que podem absorver radiação UV.	Não afecta.
Dureza	Não afecta.	O Ca, o Mg e outros metais podem precipitar sobre as lâmpadas, especialmente a temperaturas elevadas.	Não afecta.
Amónia	Forma cloraminas, que aumentam a demanda de cloro.	Não afecta.	Não afecta, embora possa reagir a pH elevado.
Nitratos	Não forma cloraminas.	Não afecta.	Pode reduzir a eficiência do O ₃ .
Nitrito	A oxidação pelo cloro forma NDMA.	Não afecta.	Oxidado pelo O ₃ .
Ferro	Oxidado pelo cloro	Absorve fortemente a radiação UV, pode precipitar sobre as lâmpadas, pode ser absorvido nos SS e servir de escudo às bactérias.	Oxidado pelo O ₃ .
Manganês	Oxidado pelo cloro	Absorve fortemente a radiação UV.	Oxidado pelo O ₃ .
pH	Condiciona a predominância de HOCl e OCl ⁻	Pode afectar a solubilidade dos metais e dos carbonatos.	Afecta a taxa de decomposição do ozono.

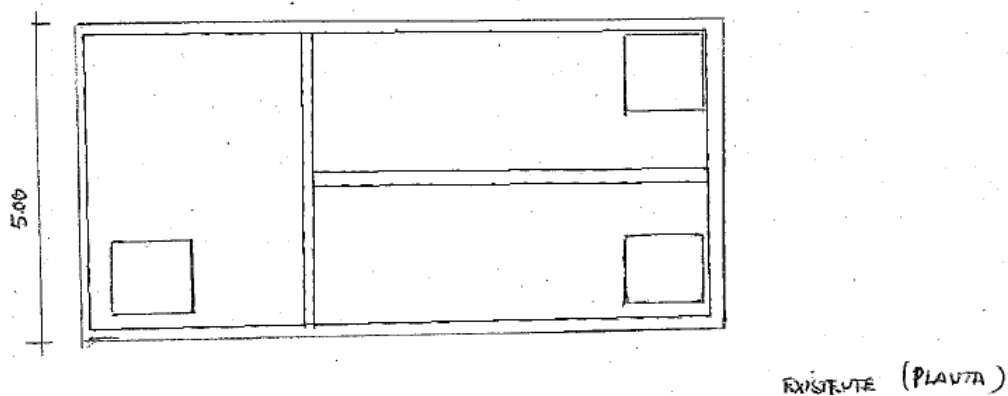
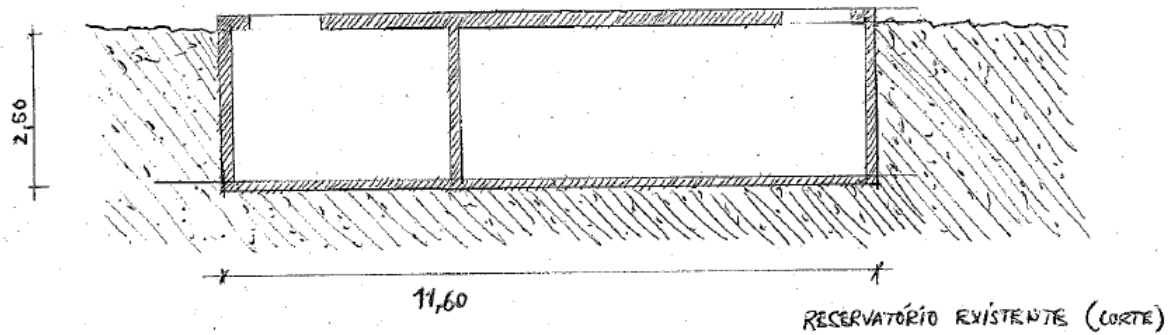


Figura I.5 – Esboço da disposição inicial no reservatório existente.

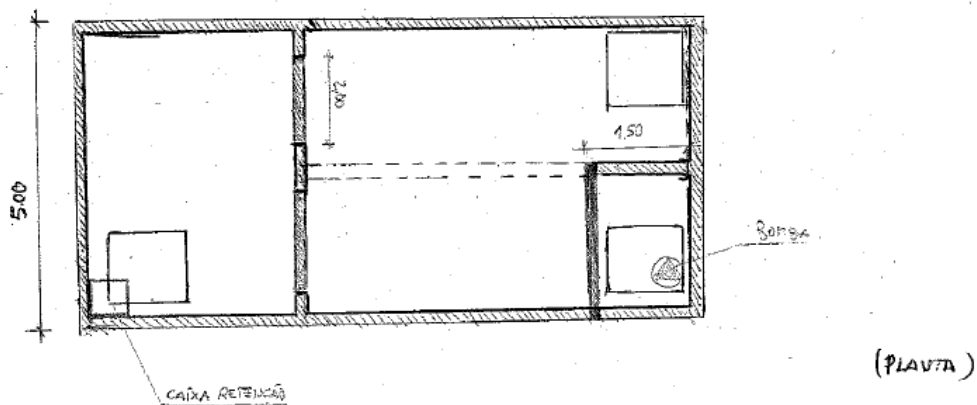
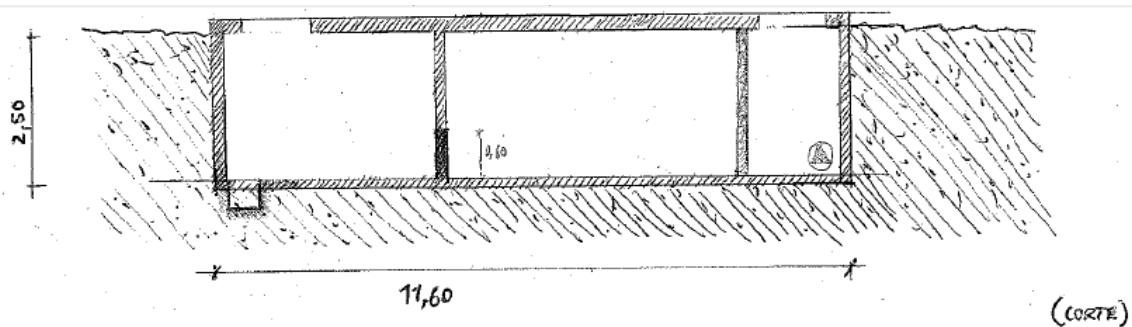


Figura I.6 – Esboço das alterações previstas no reservatório.

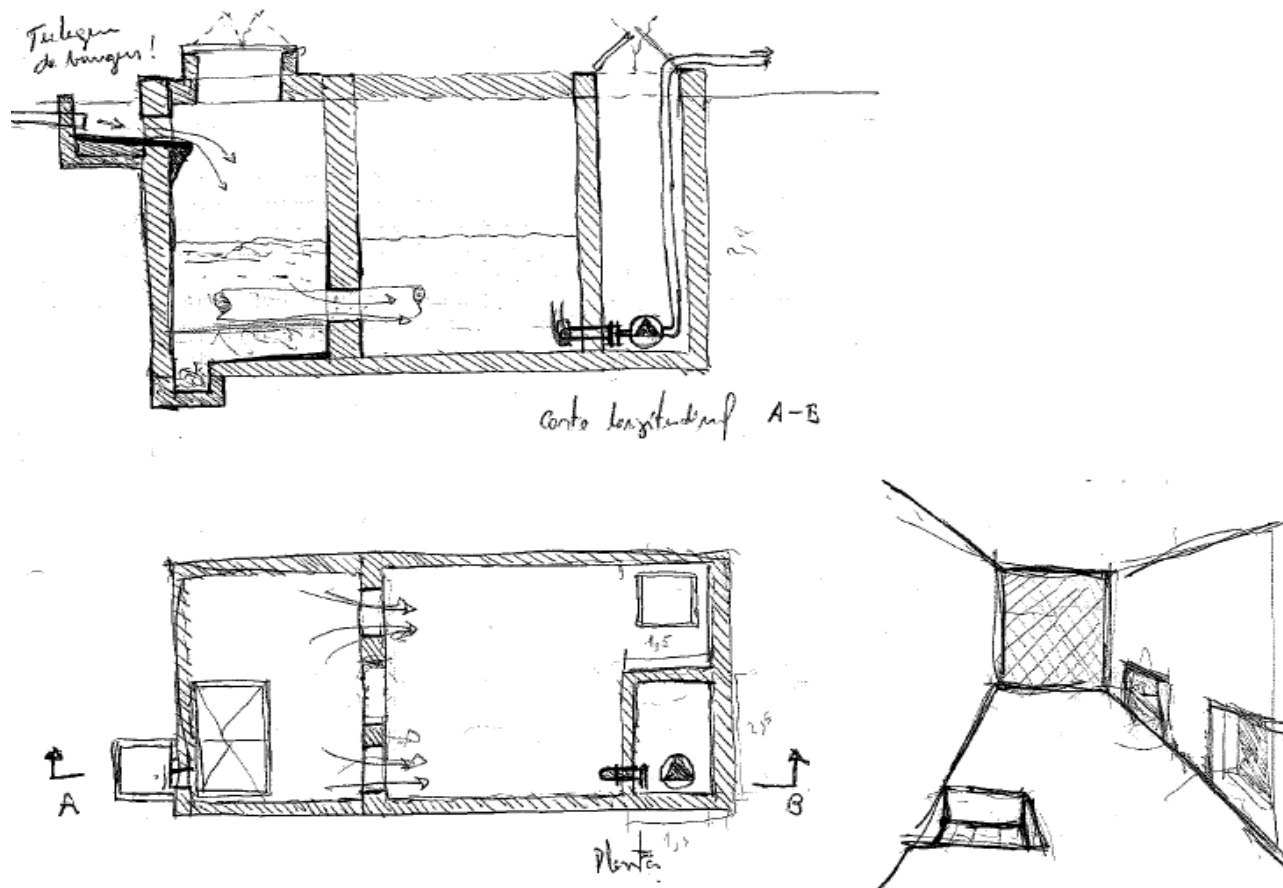


Figura I.7 – Rascunhos iniciais das alterações pensadas no reservatório.

Sistema de comando de tratamento terciário e válvula com actuador pneumático.

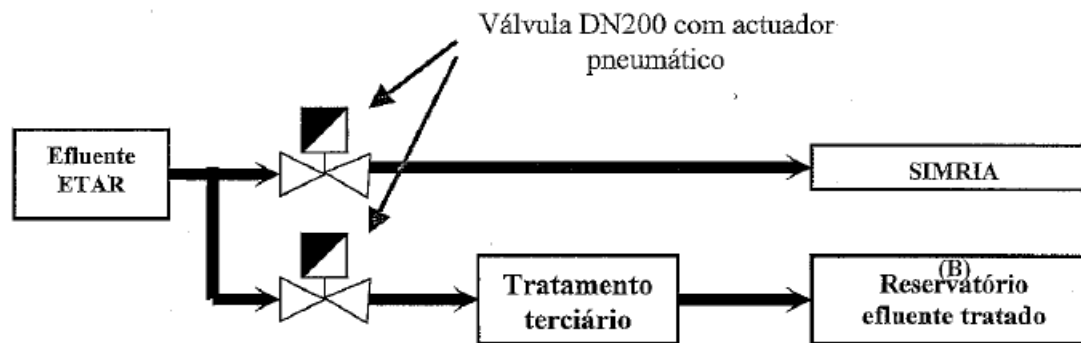


Figura I.9 – Esquema do sistema de permuta hidráulico para rejeição ou recuperação (retirado de caderno de encargos intervenções hidráulicas e elétricas Renault C.A.C.I.A.).

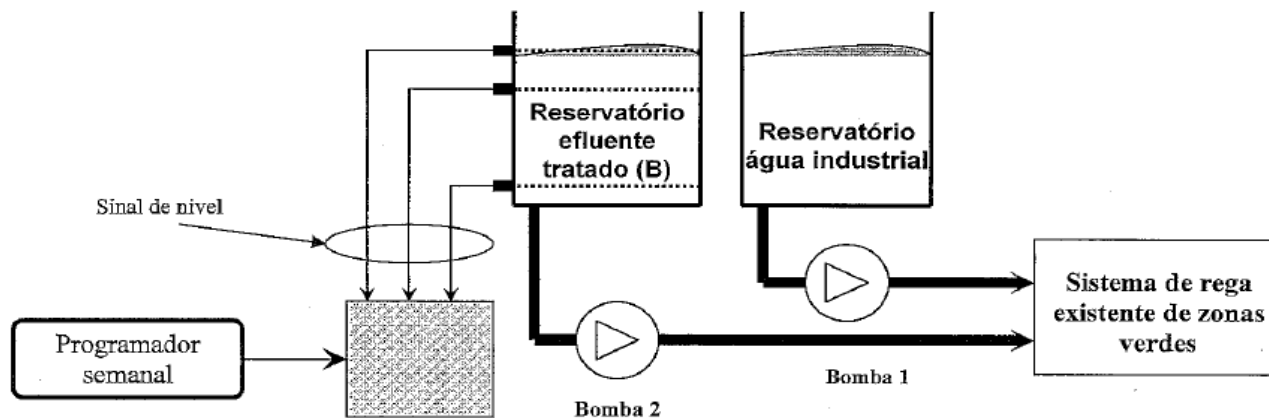


Figura I.10 – Esquema do sistema de operação de bóias de nível (retirado de caderno de encargos intervenções hidráulicas e elétricas Renault C.A.C.I.A.).

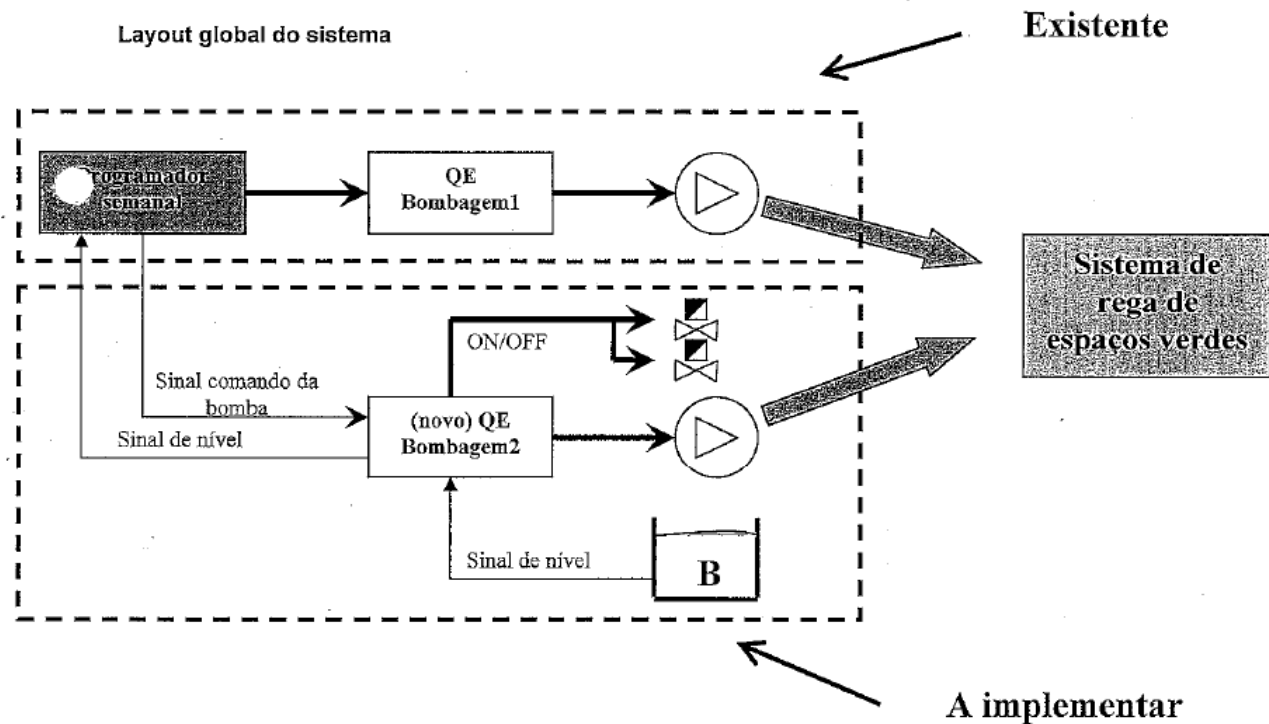


Figura I.11 – Esquema do sistema hidráulico e elétrico previsto para a rega (retirado de caderno de encargos intervenções hidráulicas e elétricas Renault C.A.C.I.A.).