



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil

“Análise da viabilidade de reutilização do efluente da ETAR de Beirolos para rega paisagística da área do Parque do Tejo”

MIGUEL SILVA MESSIAS

Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil

Orientadora:

Doutora Maria Helena Ferreira Marecos do Monte, Professora Coordenadora com Agregação (ISEL/IPL)

Júri:

Presidente: Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos, Professor Coordenador (ISEL/IPL)

1ºVogal: Arguente: Engenheiro Adérito José de Jesus Mendes, Equiparado a Professor Adjunto (ISEL/IPL)

2ºVogal: Orientadora: Doutora Maria Helena Ferreira Marecos do Monte, Professora Coordenadora com Agregação (ISEL/IPL)

Dezembro de 2012

RESUMO

O desenvolvimento da actividade humana e a crescente necessidade de água, conduz a situações de insustentabilidade de utilização dos recursos hídricos em muitas regiões do globo. Perspectivando que a necessidade de água, associada ao desenvolvimento socioeconómico, não tende a diminuir, é fundamental o estudo de métodos alternativos de utilização de água, bem como o desenvolvimento de origens de água alternativas. Neste contexto, a reutilização de água apresenta-se como uma importante alternativa, sendo o estudo desta aplicação motivante, pois permite a protecção do meio ambiente.

Pretendeu-se através deste estudo, analisar a viabilidade de reutilizar o efluente da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Beirolas para a rega paisagística do Parque do Tejo, presentemente efectuada com recurso a água subterrânea extraída em dois furos locais.

O trabalho foi focado na análise da qualidade do efluente e das infra-estruturas necessárias para desenvolver o projecto, à luz dos critérios da NP 4434:2005. Foram definidas regras de segurança e controlo do sistema, bem como uma estimativa de custos de investimento e de operação e manutenção.

Verificou-se que o efluente da ETAR de Beirolas não possui a qualidade necessária para a aplicação imediata do mesmo na rega do Parque do Tejo, para o efeito sendo sugerido a inserção na linha de tratamento da ETAR de um sistema de tratamento complementar baseado em filtração seguida de desinfecção.

Embora a aplicação de uma solução desta natureza seja benéfica em termos da protecção do ambiente, a mesma não é financeiramente competitiva com a solução atualmente utilizada.

Palavras-chave: água residual, efluente, ETAR, rega paisagística, reutilização.

ABSTRACT

The development of human activity and the increasing need for water, lead to a situation of unsustainability of the water resources management in many regions. Foreseeing that the need for water will not decrease, it is fundamental to study alternative methods of use of water as well as dependable water sources. In this context, water reuse presents an important alternative, the study of this application it's motivating since it enables the protection of the environment.

This study intended to assess the possibility of reusing the effluent of Beirolas wastewater treatment plant in the irrigation of Parque do Tejo, which presently is made with groundwater abstracted from two local wells.

The work was focused on the analysis of the effluent quality and the infrastructure needed to develop the project, taking the requirements of the NP 4434:2005 as reference. Security rules and control system were defined as well as an estimate of investment costs and operation and maintenance.

It was found that the effluent quality it's not suitable for reuse in landscape irrigation of Parque do Tejo, unless the treatment is completed with filtration followed by disinfection.

While the implementation of such solution is beneficial in terms of environmental protection it is not financially competitive with the use of groundwater.

Key words: wastewater, effluent, wastewater treatment plant, landscaping irrigation, reuse.

AGRADECIMENTOS

Desejo em primeiro lugar, agradecer e manifestar o meu mais sincero reconhecimento à Professora Doutora Helena Marecos do Monte, pela disponibilidade sempre demonstrada no desenvolvimento deste trabalho, no esclarecimento de dúvidas e obtenção de informações.

Um agradecimento especial à SIMTEJO, nas pessoas da Engenheira Vanda Barroso e do Engenheiro Pedro Póvoa, cujo apoio e disponibilização de informação foi fundamental para o prosseguimento deste estudo.

Ao Engenheiro Ribeiro de Almeida da Parque Expo, um muito obrigado pela informação disponibilizada.

Aos meus pais e à minha irmã, quero agradecer e reconhecer o apoio e motivação demonstrada ao longo da minha vida e em especial neste período académico de maior stresse.

Um obrigado a todos os meus colegas, cujo apoio no estudo e elaboração de trabalhos, permitiu um desempenho académico positivo.

A todos os meus amigos, que permitiram que os momentos académicos cansativos fossem esquecidos e ultrapassados, um muito obrigado.

ÍNDICE GERAL	PÁGINA
RESUMO	I
ABSTRACT	II
AGRADECIMENTOS	III
ÍNDICE DE QUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	IX
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 METODOLOGIA	5
1.4 ESTRUTURA	5
2 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS PARA REGA PAISAGÍSTICA	7
2.1 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS	7
2.2 RISCOS E BENEFÍCIOS ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO DE ARUT	9
2.3 REGA PAISAGÍSTICA	12
2.3.1 Nota introdutória	12
2.3.2 Impacto da utilização de ARUT nas plantas, no solo e na saúde pública	13
2.3.3 Requisitos/critérios de qualidade de água para rega paisagística	16
2.3.4 Tratamento de águas residuais	23
3 CASO DE ESTUDO	27
3.1 ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO	27
3.2 ETAR DE BEIROLAS	27
3.3 PARQUE DO TEJO	29
3.4 REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DA ETAR DE BEIROLAS	33
3.4.1 Potenciais usos do efluente da ETAR de Beirolas	33
3.4.2 Caracterização da qualidade do efluente da ETAR de Beirolas	33
3.4.3 Avaliação de qualidade segundo a NP4434:2005	36

3.4.4 Alteração da linha de tratamento	37
3.4.5 Monitorização do sistema de reutilização	37
3.4.6 Controlo e segurança	38
4 ESTIMATIVA DE CUSTOS	41
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	45
5.1 CONCLUSÕES	45
5.2 RECOMENDAÇÃO E PROPOSTAS DE ESTUDOS FUTUROS	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
7 ANEXOS	1
7.1 ANEXO 1 – QUALIDADE DAS ÁGUAS DESTINADAS À REGA. ANEXO XVI DO DL 236/98	1
7.2 ANEXO 2 – MÉTODOS ANALÍTICOS DE REFERÊNCIA E FREQUÊNCIA MÍNIMA DE AMOSTRAGEM DAS ÁGUAS DESTINADAS À REGA. ANEXO XVII DO DL 236/98	3
7.3 ANEXO 3 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA ETAR DE BEIROLAS (FONTE: SIMTEJO).	5
7.4 ANEXO 4 – ANÁLISES EFLUENTE DA ETAR DE BEIROLAS (FONTE: SIMTEJO).	6
7.5 ANEXO 5 – SISTEMA DE REGA DO PARQUE DO TEJO (FONTE: PARQUE EXPO).	22

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Características das águas residuais (adaptado de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).....	14
Quadro 2 – Patogénicos veiculados pela água e doenças associadas (adaptado de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).	15
Quadro 3 – Parâmetros de qualidade de água (adaptado de NP4434:2005) ...	21
Quadro 4 – Distância mínima entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana permanente (adaptado de NP4434:2005).....	22
Quadro 5 – Valores máximos para a velocidade do vento durante a rega (adaptado de NP4434:2005).....	22
Quadro 6 – Dimensão de espaços verdes (fonte:GEURBANA).....	29
Quadro 7 – Espécies vegetais presentes no Parque do Tejo, (fonte: GEURBANA).....	32
Quadro 8 – Parâmetros efluente ETAR de Beirolas, (fonte:SIMTEJO).....	34
Quadro 9 – Concentração máxima de metais pesados no efluente da ETAR de Beirolas (fonte: SIMTEJO).	36
Quadro 10 – Custos de O&M de desinfecção por UV para 54000m ³ /d, (fonte: SIMTEJO).	41
Quadro 11 – Custos de Operação e manutenção de desinfecção por UV para 150m ³ /h, (fonte: SIMTEJO).....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Parque do Tejo e ETAR de Beirolas (fonte: GoogleMaps).....	4
Figura 2 – Campo de golfe Koele (fonte:www.ustropics.com/Lanai/index.html).....	8
Figura 3 – Lago Mono (fonte:www.ratestogo.com/blog/magnificence-at-mono-lake/)	9
Figura 4 – Aspersor.....	30
Figura 5 – Falcon (fonte: RainBird).....	31
Figura 6 – Pulverizador	31
Figura 7 – Sistema gota-a-gota	32
Figura 8 – Distância entre zona habitacional e sistema de rega.....	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARH	Administração da Região Hidrográfica
ARUT	Águas residuais urbanas tratadas
CBO	Carência bioquímica de oxigénio
CQO	Carência química de oxigénio
DRA	Direcção Regional do Ambiente
DRADR	Direcção Regional da Agricultura e Desenvolvimento Rural
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
EWA	European Water Association
FAO	Food and Agriculture Organization
IRAR	Instituto Regulador de Águas e Resíduos
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
NP	Norma portuguesa
O&M	Operação e Manutenção
OMS	Organização Mundial de Saúde
PEAASR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
PNUEA	Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água
PVOT	Programa Operacional Temático Valorização do Território
QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
SRART	Sistema de Reutilização de Águas Residuais Tratadas

TFM	Trabalho Final de Mestrado
UBI	Universidade da Beira Interior
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VMA	Valor Máximo Admissível
VMR	Valor Máximo Recomendável

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O contínuo desenvolvimento da atividade humana tem estado associado à crescente utilização de recursos hídricos situação que já é insustentável em algumas regiões do planeta e ameaça estender-se a muitas outras, incluindo partes do território nacional. Existem diversas partes do planeta onde a escassez de água aparece como um problema de resolução difícil, afectando gravemente as necessidades básicas da humanidade. Aproximadamente 1200 milhões de pessoas (cerca de um quinto da população mundial) vivem em áreas de escassez física de água (FAO, 2007).

Quando comparado com outros continentes, o continente europeu detém recursos hídricos em abundância. No entanto, a deterioração da qualidade da água, a sobre-exploração deste recurso e os períodos de seca recorrentes, conduziram a uma maior dificuldade em garantir água na quantidade e qualidade necessária e direccionou a atenção dos países europeus para a preservação deste recurso. Portugal, localizado na zona sudoeste da Europa, não foge a esta realidade, sendo evidente a necessidade do país estudar e aplicar medidas que potenciem a disponibilidade de água. Isto implica, para além da educação da população no âmbito da utilização de recursos hídricos, a procura de novas proveniências de água para que as suas utilizações fundamentais, como o consumo humano e as diversas atividades socioeconómicas disponham este precioso recurso de forma garantido.

A conservação de água representa qualquer redução benéfica nas perdas de água, desperdício ou uso.

Tendo por objetivo a conservação da água de qualidade, o estudo da aplicação de água de qualidade inferior para usos específicos surge como estratégia de desenvolvimento económico e protecção ambiental, sendo a reutilização uma possibilidade ao alcance dos conhecimentos científicos existentes, no entanto sujeita a algumas condicionantes. Neste contexto, o efluente das estações de tratamento de águas residuais (ETAR), nomeadamente as que têm tratamento terciário, aparentam ter condições diversas de aplicabilidade de reutilização.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º113/2005, de 30 de Junho, aprova o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) – Bases e Linhas Orientadoras, programa este que define a eficiência do uso da água como uma estratégia nacional de índole económica e ambiental. Em Junho de 2012, foi apresentada uma atualização do programa pelo atual governo.

O interesse económico-financeiro do uso eficiente da água é transversal a unidades gestoras de sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais, ao tecido empresarial e aos cidadãos. As primeiras são afectadas pelas perdas associadas ao transporte, pelo que a mitigação desta situação, teria impacto directo na economia das mesmas. Em numerosos sectores da actividade empresarial, a água apresenta-se como um importante factor da produção, daí que uma maior eficiência na utilização deste recurso, conduziria a um aumento natural da competitividade das empresas. O uso eficiente da água pode também ser encarado como uma estratégia doméstica, pois quanto menor for o consumo, menor serão os encargos associados ao mesmo.

Para além do interesse económico, existe o imperativo ambiental, visto que em Portugal existem algumas regiões que são sujeitas anualmente ao stresse hídrico, nomeadamente as regiões do Alentejo e do Algarve, bem como as zonas do interior leste, pelo que a eficiência surge como estratégia associada à disponibilidade da água, nestes locais e no restante território nacional.

O PNUEA apresenta diversas medidas visando otimizar os sistemas, garantir o uso eficiente da água e garantir a disponibilidade da mesma no uso urbano, agrícola e industrial.

No que se refere ao uso urbano as medidas são ao nível dos sistemas públicos, prediais e de instalações colectivas, dispositivos em instalações residenciais, colectivas e similares e usos exteriores.

Para o uso agrícola, as medidas incidem sobre os sistemas de transporte e distribuição da água, da rega por gravidade, rega por aspersão e rega localizada. Estranhamente, o PNEUA não menciona a possibilidade de utilização de ARUT na agricultura (o principal consumidor de recursos hídricos

no país).

Relativamente ao uso industrial, as medidas são dirigidas ao processo de fabrico industrial, aos sistemas de transferência de calor, à limpeza de instalações e de equipamentos e aos usos similares aos urbanos.

No âmbito deste trabalho, as medidas do PNUEA que se destacam são a reutilização de ARUT, nomeadamente na rega de parques e campos desportivos.

Neste momento, encontra-se em aplicação em Portugal o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (MAOTDR,2006), que prevê um nível de cobertura da população nacional de 89% no tratamento de águas residuais no ano de 2013. A existência de diversas ETAR's no país e o seu planeado aumento, contribuí para um maior controlo da poluição do ambiente pelas águas residuais, criando também a disponibilidade de maior volume de águas tratadas para reutilização como um recurso alternativo. Com o nível de tratamento adequado, a reutilização de águas residuais tratadas pode ser encarada como um contributo para um modelo de desenvolvimento sustentável. O próprio PEAASAR II (MAOTDR,2006) tem como um dos seus objectivos, que o volume de águas residuais tratadas utilizadas na reutilização atinja os 10%. Segundo o mesmo Plano, na grande maioria das novas ETAR tem sido privilegiada a reutilização do efluente tratado dentro da instalação como água de serviço, para lavagens de pavimentos, de equipamentos e ainda para rega dos espaços verdes do recinto, como é o caso atual da ETAR de Beirolas.

Em funcionamento desde 1989 e tendo sofrido melhorias finalizadas no ano 2000, esta ETAR gerida pela empresa SIMTEJO S.A., localiza-se na extremidade norte da área gerida pela empresa Parque-Expo e tem capacidade para tratar 54500m³/d (fonte:SIMTEJO,2012).

Parte deste efluente poderia ser reutilizado para a rega paisagística do Parque do Tejo, espaço gerido pela Parque-Expo, localizado entre a torre Vasco da Gama e a foz do rio Trancão (Figura1), ideia contemplada no projecto da Exposição Universal de 1998 (EXPO 98) e que não foi possível concretizar na

altura, por a ETAR não ter concluído a linha de tratamento necessária para que o seu efluente pudesse ser reutilizado na rega paisagística.



Figura 1 – Parque do Tejo e ETAR de Beirolas (fonte: GoogleMaps).

O estudo da viabilidade de utilização do efluente mencionado, apresenta diversos desafios no âmbito da engenharia civil, mais especificamente, no ramo da hidráulica, além da avaliação de questões económicas, ambientais e de saúde pública. Existe a necessidade de verificar compatibilidades de características qualitativas e quantitativas entre o efluente e a aplicabilidade do mesmo, bem como o estudo das infraestruturas do sistema de transporte e de rega. Associado a este processo o estudo financeiro e a verificação de requisitos ambientais e de saúde pública são fundamentais.

1.2 Objetivos

Na sequência de pesquisa bibliográfica sobre a reutilização de água residual urbana tratada, as suas aplicações e condicionantes da sua utilização, foi possível averiguar que embora os encargos associados a este projeto sejam consideráveis, a sua utilização pode ser viável e benéfica tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista financeiro.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade da reutilização do efluente da ETAR de Beirolas na rega paisagística do Parque do Tejo. Para tal será feita uma análise técnica e financeira, isto é, levantamento das infraestruturas existentes, analisar a qualidade do actual efluente e definição de eventuais infraestruturas a implementar, com a respectiva estimativa de custos.

1.3 Metodologia

A metodologia adoptada neste estudo baseou-se na avaliação da qualidade do efluente da ETAR de Beirolas para rega paisagística com base nos resultados analíticos existentes e à luz dos critérios da NP 4434:2005, bem como na verificação da adequabilidade do sistema de rega do Parque do Tejo face ao cumprimento da mesma norma.

Procedeu-se ao levantamento das infra-estruturas do actual sistema de rega do Parque do Tejo e da linha de tratamento da ETAR de Beirolas, determinando as adaptações necessárias para possibilitar a reutilização de águas residuais tratadas no Parque.

Definiram-se regras de segurança e controlo do sistema de rega-plantas regadas-solo.

Foi elaborada uma estimativa de custos de investimento e de operação e manutenção (O&M) do sistema.

1.4 Estrutura

O TFM está estruturado em sete capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o enquadramento do tema. No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica para a reutilização de ARUT. No terceiro capítulo é analisado o caso de estudo, a ETAR de Beirolas e o Parque do Tejo, onde são estudadas as possibilidades de reutilização do efluente da ETAR de Beirolas e sugeridas soluções para aplicação do mesmo na rega paisagística do Parque do Tejo. A análise financeira é desenvolvida no capítulo quatro. As conclusões e recomendações são apresentadas no capítulo cinco.

2 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS PARA REGA PAISAGÍSTICA

2.1 Reutilização de águas residuais urbanas tratadas

A reutilização de água é utilizada desde a antiguidade (Angelakis, et al., 1999), mas com maior incidência a partir do século XIX (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010), nomeadamente em locais de menor disponibilidade hídrica.

A reutilização é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim, com objectivos benéficos.

A água reutilizada possibilita diferentes aplicações, como a limpeza de ruas, o combate a incêndio, a recarga de linhas de água superficiais e subterrâneas, o arrefecimento em centrais térmicas, a rega de espaços verdes e a rega agrícola. Esta última, em especial apresenta-se como potencial grande utilizadora uma vez que este sector consome aproximadamente 65% dos recursos hídricos utilizados a nível mundial (Asano et al., 2007). Nesta área Marecos do Monte (1994) apresenta o primeiro trabalho de investigação significativo realizado em Portugal no domínio da reutilização de águas residuais tratadas, tendo os seus resultados constituído a base da elaboração da NP 4434:2005, que normaliza a reutilização a reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega agrícola e paisagística. Este projeto de doutoramento avaliou as interações entre as águas residuais tratadas, que constituíram a água de rega aplicada a três culturas (milho, sorgo e girassol), as culturas e o solo de suporte. Foram estudadas águas residuais tratadas por três linhas de tratamento: primário, secundário e lagunagem natural. O estudo apresentou recomendações, nomeadamente relativas à seleção de culturas e de métodos de rega.

Em (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010), os fatores considerados essenciais, para a definição do tipo de aplicação são os seguintes: a qualidade das águas residuais tratadas (depende do nível de tratamento); o tipo de tecnologia associado ao tratamento das águas residuais; o equilíbrio entre a procura e a oferta de água para reutilizar; as infraestruturas necessárias à

concretização da reutilização; a sustentabilidade económico-financeira do projeto de reutilização e a mitigação dos impactes ambientais associados à reutilização.

A reutilização de águas residuais tratadas já é utilizada por diversos países há várias décadas, sendo possível referir diversos casos de sucesso desta aplicação. No sítio da internet da USEPA (www.epa.gov) estão descritos alguns destes casos, entre os quais o campo de golfe Koele na ilha Lanai do Havai (figura 2), onde desde 1994 toda a água necessária para regar o campo é água reutilizada.



Figura 2 – Campo de golfe Koele (fonte:www.ustropics.com/Lanai/index.html)

Outro exemplo é o do lago Mono na Califórnia (figura 3), onde devido à sobreexploração do lago para abastecimento urbano, o nível de água desceu imenso e a sua qualidade também piorou, tendo o Departamento de Água e Energia de Los Angeles, sido obrigado, em 1994, a parar o desvio de um quinto da água usualmente retirada da bacia. O desenvolvimento de projetos de reutilização de água na cidade permitiu uma restauração da quantidade e qualidade da água existente no lago.



Figura 3 – Lago Mono (fonte: www.ratestogo.com/blog/magnificence-at-mono-lake/)

Desde o início do século XX que a água é reutilizada na Califórnia, estado onde recentemente a empresa Gallo, uma produtora de vinhos californiana, com o apoio do município de Santa Rosa completou as instalações necessárias para a rega de 350 hectares de vinha, com recurso à água residual da cidade. A existência de casos concretos de reutilização de águas residuais tratadas possibilita a partilha de conhecimento e experiências entre técnicos especialistas e transmite mais confiança à população que terá contacto com esta aplicação.

2.2 Riscos e benefícios associados à reutilização de ARUT

A aplicação de um sistema de reutilização de ARUT, está dependente de um equilíbrio entre os impactos sociais, ambientais e económicos que o mesmo pode ter. Não só de benefícios é composta a reutilização de ARUT, sendo assim, é importante conhecer os riscos de aplicação desta solução. Abaixo são apresentados alguns prós e contras considerados relevantes.

Benefícios económicos

- Comparativamente às origens de águas superficiais e subterrâneas, o efluente de uma ETAR garante menos variações de qualidade e

quantidade , esta consistência pode conduzir a uma diminuição de custos associados à garantia de água para a indústria e a agricultura.

- A possibilidade de utilizar ARUT em utilizações específicas como a rega, contribui para a sustentabilidade dos recursos hídricos.
- A utilização de ARUT na rega agrícola e paisagística permite uma diminuição da utilização de fertilizantes devido à presença de diversos nutrientes na mesma.
- Em casos onde seja necessário construir infraestruturas com elevados encargos associados, como as captações de grande profundidade, desalinização ou mesmo a construção de barragens, a reutilização poderá ter redução de custos associados à utilização de água.
- A utilização crescente de recursos hídricos nos grandes centros urbanos, levará à construção de mais infraestruturas tanto para captação como para transporte, a utilização de ARUT, poderá reduzir os investimentos ou mesmo eliminá-los.

Riscos económicos

- A possibilidade de ineficiência no tratamento e uso de ARUT poderá conduzir a poluições significativas e epidemias na população com consequente impacto económico.
- Inexistência de justificação económica para utilização de ARUT em locais onde não seja cobrado o real valor económico da utilização de água,
- Indefinição das necessidades de mercado para utilização de ARUT.
- Análises incorrectas dos custos associados a longo prazo ou a não consideração de alternativas económicas.
- Não aceitação por parte da população da reutilização de ARUT.

Benefícios ambientais

- Permite diminuir o consumo de água de qualidade superior, contribuindo

para a conservação dos recursos hídricos, com particular interesse nos locais com stresse hídrico associado.

- Diminuição de descargas de ARUT nas linhas de água, diminuindo assim a poluição das mesmas.
- Quando as soluções utilizadas para utilização de recursos hídricos passam pela utilização de soluções associadas a consumos de energia superiores aos utilizados na reutilização de ARUT, como é o caso da captação de água a grandes profundidades ou a desalinização de água salgada ou salobra, a reutilização pode funcionar como medida de mitigação das alterações climáticas.
- Para que os consumidores tenham confiança na reutilização de ARUT, estas terão que manter sempre uma qualidade satisfatória, se em algum momento essa qualidade não for garantida, os clientes perderão a confiança no produto, conduzindo a uma drástica redução do consumo da mesma. Quando a água é descarregada nas linhas de água, em vez de reutilizada, embora exista legislação a cumprir, existem situações onde ocorre a descarga de efluente com qualidade inferior ao desejável, no entanto, o facto de não ter consequências económicas associadas, permite a repetição desta situação. Desta forma, a reutilização contribui também para mitigar situações de efluentes com tratamento inferior ao estipulado.
- Os nutrientes presentes nas ARUT reutilizadas para a rega agrícola conduzem a uma diminuição da utilização de fertilizantes artificiais, prejudiciais ao meio ambiente.
- As ARUT podem ser utilizadas para recarregar aquíferos.

Riscos ambientais

- A descarga de efluentes contendo substâncias tóxicas e perigosas, provenientes das indústrias, podem condicionar a qualidade dos efluentes e conduzir a problemas de saúde pública e ambientais. A regulamentação e fiscalização das descargas industriais nas redes de

colectores é fundamental em projetos desta natureza.

- Os resíduos provenientes das ETAR, associados ao tratamento do efluente para reutilização, devem ser rigorosamente analisados e estudados, para evitar deposições desadequadas que possam prejudicar o ambiente.

Benefícios sociais

- O uso de ARUT na rega de produtos agrícolas, pode ser benéfico para a saúde pública, pois o controlo de qualidade para a sua aplicação, permite ter segurança neste recurso, ao invés das captações em linhas de água com controlo de qualidade reduzido ou inexistente.
- Em zonas com quantidades reduzidas de água, a reutilização aumenta essa disponibilidade, podendo contribuir para o desenvolvimento económico local.

Riscos sociais

- Reutilização de água sem que esta sofra o tratamento adequado, esta situação pode ocorrer por negligência, associados à falta de conhecimento ou problemas financeiros.
- Dificuldades de aceitação pública.

2.3 Rega Paisagística

2.3.1 Nota introdutória

A rega paisagística refere-se à rega de espaços verdes de recreio e ornamentais, bem como à rega de campos desportivos.

Esta aplicação consome um volume de água considerável. E o atual panorama de disponibilidade de recursos hídricos, leva a que opções como a reutilização de água, sejam estudadas e consideradas como soluções necessárias a recorrer. Para além da proteção ambiental, a economia é determinante na escolha da reutilização, principalmente em empreendimentos de grande

dimensão, com necessidades elevadas de água para rega com grandes encargos financeiros associados à mesma.

Vários países europeus recorrem atualmente à reutilização de ARUT e Portugal não é exceção, no entanto os Estados Unidos são o exemplo mais significativo da reutilização na rega paisagística (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

2.3.2 Impacto da utilização de ARUT nas plantas, no solo e na saúde pública

A rega paisagística difere da rega agrícola apenas no sentido de que as plantas regadas não se destinam a consumo humano ou animal, nem para fins industriais, destinando-se antes a melhorar a qualidade de vida através da disponibilidade de espaços verdes para usos recreativos e de lazer, como parques e campos desportivos. Do ponto de vista de interação da água com as plantas regadas, com o solo e com as águas subterrâneas, as questões de índole agronómica, sanitária e ambiental que se levantam na rega paisagística são idênticas às que se colocam na rega agrícola: essencialmente, proporcionar o bom desenvolvimento das plantas, sem induzir riscos de saúde pública, nem impactes ambientais adversos

As tecnologias avançadas, aplicadas nas linhas de tratamento das ETAR, permitem obter uma efluente com diminuta concentração de compostos químicos e de microorganismos, cuja presença pode, no entanto, condicionar o ambiente e a saúde pública. Desta forma, torna-se essencial conhecer as características dos efluentes e os impactes dos mesmos, para possibilitar um controlo de riscos eficiente.

A existência na água de resíduos não removidos no processo de tratamento não está necessariamente associada a uma situação prejudicial. No Quadro 1, são apresentadas as características das águas residuais, com impacto mais significativo no biosistema solo-planta e nos equipamentos.

Quadro 1 – Características das águas residuais (adaptado de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Características	Parâmetro de avaliação	Efeito
Salinidade/Sais inorgânicos dissolvidos.	SDT. Condutividade elétrica. 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	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, podendo ser benéfico para o biosistema.
Compostos orgânicos refractários.	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados).	Resistem aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos. A sua presença pode ser limitativa do uso do efluente para rega.
Nutrientes.	N, P e K.	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. À sua presença, normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicados no solo em quantidades excessivas, podem induzir a poluição das águas subterrâneas.
Atividade 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 fator 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.

Para além das características apresentadas no Quadro 1, outras, como a presença de microorganismos patogénicos (coliformes fecais, ovos de parasitas intestinais) são prejudiciais à saúde pública e indicativos da possibilidade de transmissão de doenças. No Quadro 2, são apresentados os grupos patogénicos com presença mais significativa na água e as doenças associadas.

Quadro 2 – Patogénicos veiculados pela água e doenças associadas (adaptado de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Grupo	Microrganismo patogénico	Doença e sintomas
Bactérias	<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite.
	<i>E. coli patogénica</i>	Enterite, diarreia.
	<i>Salmonella</i> <i>S. typhi</i> <i>S. paratyphi</i> <i>Outras espécies</i>	Febre tifoide. Febre paratifoide. Salmoneloses.
	<i>Shigella spp.</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Outros vibriões</i>	Disenteria bacilar. Cólera.
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterite e septicemia.
	Protozoários	<i>Balantidium coli</i>
<i>Entamoeba histolytica</i>		Úlcera do cólon, disenteria amibiana e abscesso do fígado.
<i>Giardia lamblia</i>		Diarreia e má absorção.
Helmintas	<i>Ancylostoma uodenal</i>	Ancilostomíase.
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase.
	<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobíase.
	<i>Hymenolepsis nana</i>	Himenolepiíase.
	<i>Necator americanus</i>	Ancilostomíase.
	<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidíase.
	<i>Taenia saginata e Taenia solium</i>	Teníase.
	<i>Trichuris trichura</i>	Tricuríase.

Vírus	Enterovírus	
	Poliovírus	Paralisia, meningite asséptica.
	Coxsackievírus	A – Paralisia, meningite asséptica, febres, doenças respiratórias. B – Paralisia, meningite asséptica, pericardites, miocardites, doenças cardíacas congénitas, pleurodinia.
	Ecovírus Reovírus	Infeções respiratórias, meningite asséptica, diarreia, pericardite, miocardite, prurido, febre. Doenças respiratórias, gastroenterites.
	Adenovírus	Conjuntivite aguda, diarreia, doenças respiratórias.
	Rotavírus	Gastroenterite infantil.
	Vírus da hepatite A e E	Hepatite A.
	Calicivírus	Gastroenterites, diarreias.

Este quadro, apresenta um vasto grupo de patogénicos, no entanto a sua presença é variável entre aglomerados populacionais e no mesmo ao longo do ano.

2.3.3 Requisitos/critérios de qualidade de água para rega paisagística

A reutilização de ARUT ainda não tem impacto significativo em Portugal. No entanto, o facto da reutilização de água ser uma importante componente estratégica da conservação deste recurso, levou a que diversas personalidades e entidades incidissem esforços no estudo e desenvolvimento de documentação nacional, de forma a possibilitar uma utilização instruída e segura da reutilização, nomeadamente de ARUT. Exemplo desses esforços são a elaboração da NP4434:2005, que normaliza a Reutilização de ARUT na

rega e do Guia Técnico “Reutilização de Águas Residuais” em 2010, este último é o resultado de uma parceria entre o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), em colaboração com a Universidade da Beira Interior (UBI). O desenvolvimento destas publicações portuguesas são um passo em frente significativo, para a implementação da reutilização em Portugal.

Existem atualmente diversos documentos (normas, recomendações, etc), criados por diferentes entidades no mundo, que fornecem informação relativamente a valores-guia da qualidade da ARUT, para diversas aplicações, entre as quais a rega paisagística.

Um dos manuais mais conceituados internacionalmente é o da United States Environmental Protection Agency (US EPA), publicado em 2004, onde para além de esclarecimentos e indicadores para reutilização de água, apresenta alguns valores de avaliação de qualidade da água para rega como os coliformes fecais que devem ter um valor inferior a 100UFC/100mL ou os ovos de helmintas, que não devem ser encontrados em número superior a 1 por litro. Também a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou recomendações relativas ao uso de águas residuais, esta em 1973, com revisões em 1989 e em 2006. Esta entidade diferencia-se da americana na sua filosofia de risco, isto é, a filosofia norte-americana defende um risco nulo, enquanto a OMS, se baseia no risco aceitável. Do ponto de vista das bactérias patogénicas, a OMS sugere para a rega agrícola um valor de coliformes fecais inferior a 1000UFC/100ml, valor bastante superior ao recomendado pela USEPA para a rega paisagística, quanto aos ovos de helmintas ao valor recomendado é também inferior a 1 por litro.

O Decreto-Lei nº236/98 de 1 de Agosto, preencheu uma lacuna de informação em Portugal no que se refere à qualidade da água, nomeadamente na utilizada para rega (Capítulo V), independentemente da sua origem. Este documento pretende proteger a saúde pública, as culturas, os solos e a qualidade das águas (superficiais e subterrâneas). Relativamente à utilização de águas residuais na rega paisagística em jardins públicos, a autorização é remetida para a Direcção Regional do Ambiente(DRA). O mesmo Decreto-Lei,

estabelece no seu anexo XVI (que se apresenta no Anexo 1) parâmetros a cumprir na qualidade das águas destinadas à rega, apresentando na generalidade dos parâmetros valores máximos recomendados (VMR) e valores máximos admissíveis (VMA). Relativamente a esta publicação, realça-se o facto de para rega paisagística o VMR de coliformes fecais estar localizado nas 100ufc/100mL, no entanto para água balnear o VMR de coliformes fecais está localizado nas 500ufc/100mL, apresentando neste aspeto alguma incongruência.

Cabe à DRA, sob proposta da Direcção Regional da Agricultura, actual Direcção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), avaliar todas as águas destinadas à rega, e estabelecer os VMR e VMA para cada caso, atendendo aos métodos de rega, ao solo, ao clima, às práticas culturais e às plantas afectadas. Os métodos analíticos de referência e a frequência mínima de amostragem são indicados no anexo XVII do mesmo documento (Anexo 2 do TFM).

A recomendação IRAR n.º02/2007, surge no âmbito do desenvolvimento português na utilização de águas residuais tratadas e pretende regulamentar esta aplicação e orientar as entidades gestoras dos sistemas multimunicipais e municipais de saneamento de águas residuais urbanas.

A recomendação é estruturada em seis tópicos de desenvolvimento:

- Utilização de águas residuais tratadas;
- Produção de águas residuais para reutilização;
- Distribuição de águas residuais para reutilização;
- Controlo de qualidade;
- Utilizadores da água residual tratada;
- Tarifário.

Quanto à utilização, é referida a importância de um estudo técnico económico, ambiental e social, bem como da sensibilização e informação do público alvo. Em função da utilização, as seguintes autorizações/licenças são necessárias: licença de descarga da ETAR; licença para rega de culturas agrícolas e florestais da ARH da região em causa bem como para rega de jardins públicos.

Coloca-se em questão a necessidade de licença de descarga quando todo o efluente é reutilizado, sem que estejam previstas descarga.

No que se refere à produção da água a reutilizar, os parâmetros de qualidade devem ser adequados, quando se mostrar necessário deverá proceder-se à afinação do tratamento.

Relativamente à distribuição de ARUT, esta deve ser efectuada através de uma rede específica claramente identificada e de acesso restrito por parte do público. No caso de a distribuição ao utilizador da água a reutilizar estiver a cargo de uma empresa independente da entidade gestora, o contrato deste serviço deverá incluir a clara descrição de responsabilidades. Os pontos de entrega devem ser devidamente acordados, onde se colocarão os instrumentos de medição. É mencionada a possibilidade de distribuição por meios móveis pertencentes á entidade responsável.

Quanto ao controlo de qualidade, a monitorização é considerada uma necessidade. A entidade gestora deverá garantir o controlo operacional da ETAR e do sistema de distribuição e assegurar a qualidade das ARUT nos pontos de entrega. A definição das condições de monitorização de qualidade é da responsabilidade da ARH. O controlo da qualidade deve também fazer parte dos utilizadores, que deverão alertar as entidades gestoras para qualquer inconformidade detectada. Quando se detecta a não verificação de algum parâmetro de qualidade, a distribuição deve ser imediatamente interrompida.

Quanto aos utilizadores, estes não são obrigados a utilizar águas residuais tratadas, sendo que a entidade gestora deverá garantir que existe procura suficiente para rentabilizar os investimentos. De forma a otimizar o dimensionamento e exploração do sistema, devem-se contratualizar os volumes fornecidos/consumidos. Quando ocorra uma situação de procura superior à oferta (por escassez de água ou simplesmente por interesse elevado), o fornecimento deverá ter em conta as especificidades de cada situação, porém deverá fornecer água de forma proporcional em caso de escassez e nas outras situações proceder a uma análise precisa dos custos-benefícios.

No que se refere aos tarifários, deverão ser distinguidos dois tipos de utilizadores, aqueles que entregam efluente para tratamento (devem suportar os custos de recolha e tratamento para descarga no meio hídrico) e os que adquirem o produto (devem suportar os custos associados à produção e distribuição de ARUT).

Os encargos associados à utilização de ARUT incluem custos de investimento (os equipamentos necessários para a afinação de tratamento, o armazenamento, a elevação e o transporte), custos de exploração (operação e manutenção) e os custos de monitorização.

Quanto a informação relativa à monitorização da qualidade da água do solo das águas subterrâneas e das plantas, esta pode ser consultada em Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (WHO, 1989), ou na NP 4434:2005, ambas as publicações incluem recomendações nesta matéria.

Para preencher algumas lacunas de informação relativamente a esta matéria, foi publicada pelo Instituto Português da Qualidade a NP4434:2005, que embora sem carácter obrigatório e com aplicação exclusiva à reutilização de águas residuais urbanas tratadas destinadas à rega, nomeadamente de espaços verdes, define requisitos de aplicação (qualidade da água, métodos, processos e tipos de rega, características das áreas a regar e culturas susceptíveis de utilização) e menciona também medidas de minimização dos impactos ambientais e dos riscos para a saúde pública.

Quanto à qualidade da água, o Quadro 3, apresenta valores limite admitidos pela norma para diversos parâmetros.

Quadro 3 – Parâmetros de qualidade de água (adaptado de NP4434:2005)

Parâmetro		Valor limite normalizado
pH		6,5-8,4
Sólidos Suspensos Totais (SST _(mg/L))		60
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)		8
Salinidade	Condutividade Elétrica (CE _(dS/m a 25º))	1
	Sais Dissolvidos Totais (SDT _(mg/L))	640
Bactérias termotolerantes (ufc/100ml)		100
Ovos de parasitas intestinais (unidades por litro)		1
Cádmio (µg/l)		10
Crómio (µg/l)		100
Cobre (µg/l)		200
Chumbo (µg/l)		5000
Níquel (µg/l)		500
Zinco (µg/l)		2000

Uma indicação relevante, relativamente às características da área a regar, está relacionada com o método de rega e proximidade de habitações, que pretende minimizar a possibilidade de transmissão de doenças associadas à água reutilizada, bem como evitar eventuais maus cheiros com proveniência das zonas de armazenamento ou dos locais onde a água reutilizada é aplicada. No Quadro 4, são apresentadas as distâncias mínimas recomendadas.

Quadro 4 – Distância mínima entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana permanente (adaptado de NP4434:2005)

Método de rega	Tipo de zona habitada	Distância mínima (m)
Rega por aspersão	Habitacões isoladas	30
	Zonas habitacionais	50
Outros métodos de rega	Habitacões isoladas	10
	Zonas habitacionais	30

Outra indicação importante, no sentido de minimizar os riscos para a saúde pública, está relacionada com a velocidade do vento no momento da realização das regas, quando o método de rega é a aspersão ou mini-aspersão, o Quadro 5, apresenta os valores de referência.

Quadro 5 – Valores máximos para a velocidade do vento durante a rega (adaptado de NP4434:2005)

Processo de rega	Distância relativamente a zonas habitadas (m)	Valores máximos para a velocidade do vento (m/s)
Aspersão	>100	3,5
	100 a 70	2
	70 a 50	2
Mini-aspersão	>50	2,5
	50 a 30	2

Para além, dos documentos enunciados, que estabelecem critérios de aplicação para a reutilização, existe mais documentação que embora estabeleça parâmetros, incentiva a sua aplicação, como é o caso da Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE), que é uma peça legislativa que no âmbito da proteção das águas (qualitativamente e quantitativamente), identifica a reutilização como um método que possibilita a redução de descarga de

poluentes nas massas de água, definindo-a como uma estratégia a aplicar pelos estados membros (anexo VI, parte B). Também o artigo 12.º da Directiva 91/271/CEE refere que os Estados Membros devem reutilizar as águas residuais tratadas sempre que apropriado. A nível nacional, para além da legislação enunciada, a lei da água (lei n.º 58/2005) refere na alínea p) do artigo.º8 que é da competência da autoridade nacional da água promover o uso eficiente da água.

O desenvolvimento de métodos que permitam a preservação dos recursos hídricos e consequente salvaguarda do meio ambiente faz parte de uma política comunitária de coesão europeia. Desta forma, um investimento relacionado com o uso eficiente da água, poderá candidatar-se a fundos estruturais europeus, administrados a nível nacional pelo Programa Operacional Temático Valorização do Território (POVT) no âmbito do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN). Deste modo, o QREN/POVT constitui um instrumento de índole financeira que consubstancia um estímulo aos projectos de reutilização de água.

2.3.4 Tratamento de águas residuais

Os processos de tratamento numa ETAR cujo efluente se pretende reutilizar não diferem dos aplicados a uma ETAR projectada com objectivos ambientais de salvaguarda do meio receptor (cumprimento do DL 152/97, de 19 de Junho), sendo possível obter uma ETAR cujo efluente possa ser reutilizado através da implementação de instalações complementares numa ETAR convencional de forma a obter a qualidade desejada às aplicações em causa.

Os níveis típicos de tratamento de uma ETAR são geralmente classificados por: preliminar, primário, secundário e terciário.

O tratamento preliminar de águas residuais, consiste na remoção de sólidos grosseiros e outros materiais que possam de alguma forma condicionar a operação/manutenção dos tratamentos seguintes, como é o caso de paus, pedras, areias, gorduras, etc. Neste processo de tratamento considera-se a gradagem e a desarenação como fundamentais para atingir os objectivos (Metcalf & Eddy, 2003).

O tratamento primário tem por objectivo a remoção de matéria orgânica e de parte dos sólidos suspensos através de operações como a sedimentação e a flotação (Metcalf & Eddy, 2003). A utilização de filtração após a sedimentação, melhora a eficiência de remoção (Asano, 1998).

O objetivo do tratamento secundário, consiste em remover a matéria orgânica biodegradável (solúvel e suspensa) através da aplicação de tratamentos biológicos e/ou físico-químicos como é o caso do processo das lamas activadas (Metcalf & Eddy, 2003).

O tratamento terciário, consiste na remoção remanescente de sólidos suspensos, de nutrientes e de elementos patogénicos, recorrendo a processos como a desinfeção. (Metcalf & Eddy, 2003).

Na reutilização é fundamental cumprir a legislação no que se refere à salvaguarda da saúde pública, sendo fundamental o processo de desinfeção.

A desinfeção tem por objetivo, eliminar os microrganismos patogénicos, através da utilização de um agente desinfetante. Existem possibilidades químicas (cloro, ozono, etc), físicas (calor), ou mesmo a radiação UV. O cloro é dos agentes mais utilizados, no entanto, a formação de compostos secundários, como os trihalometanos, altamente nocivos, está a conduzir a um abandono desta solução. A utilização do ozono, têm-se mostrado mais eficiente que o cloro e não conduz à formação de compostos secundários, no entanto, os elevados encargos associados à sua aplicação, tem condicionado uma aplicação mais significativa. A radiação UV é bastante utilizada em ETA e ETAR, pois apresenta uma eficiência apreciada e encargos associados médios em comparação com as outras possibilidades conhecidas. Em função das características hidráulicas, a radiação UV, pode ser aplicada em canal aberto ou em tubagem fechada. Com o recurso a lâmpadas, este processo, consiste na incidência de radiação UV (espectro magnético entre 100 e 400nm), sendo que a capacidade germicida está identificada entre os 220 e 320nm (Metcalf & Eddy, 2003). De forma a melhorar o processo de desinfeção, a aplicação da filtração é fundamental.

Com a aplicação de um sistema de filtração removem-se as partículas em suspensão, que ainda não foram removidas na linha de tratamento. A utilização deste processo, permite diminuir a turvação da água e o facto de remover pequenas partículas, irá permitir também a remoção de produtos químicos e metais pesados prejudiciais. A escolha do filtro a utilizar, depende do caudal que se pretende tratar e da dimensão das partículas que se prevêem presentes (Metcalf & Eddy, 2003).

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Enquadramento do caso de estudo

Desde Dezembro de 1989 que a ETAR de Beirolos entrou em funcionamento, tendo por grande objectivo ambiental garantir a salvaguarda da vida aquática do rio Tejo. Em 1995, foi lançado um concurso pela Câmara Municipal de Lisboa, para alterar/melhorar a linha de tratamento da ETAR, de forma a obter um efluente de qualidade superior, para permitir, entre outras coisas, a reutilização do efluente tratado, na rega de espaços verdes, lavagem de ruas, combate a incêndios, etc. A intervenção permitiu também a instalação de um sistema de desodorização e de um processo de digestão anaeróbia de lamas e conseqüente aproveitamento energético do biogás aí produzido através da produção de electricidade. As obras avançaram, tendo sido concluídas no ano 2000.

Este trabalho pretende fazer um levantamento das infraestruturas existentes, analisar a qualidade atual do efluente e definir quais as infraestruturas necessárias a implementar e os seus custos, de forma a reutilizar o efluente da ETAR de Beirolos para a rega paisagística do Parque do Tejo, verificando a NP4434.

Todo este vasto espaço verde é atualmente regado, com recurso a água subterrânea, proveniente de dois furos, o do “lote do Hotel” e o da “Lusoponte”.

3.2 ETAR de Beirolos

A ETAR de Beirolos está integrada no sistema de tratamento de águas residuais da cidade de Lisboa, gerido pela empresa SIMTEJO, S. A., do grupo Águas de Portugal, servindo a zona Oriental da cidade e ainda parte do concelho de Loures. Esta ETAR tem capacidade para tratar as águas residuais de uma população equivalente a 213500 habitantes e um caudal de 54500m³/d.

O esquema de funcionamento da ETAR de Beirolos (após obras de melhoramento) segue a seguinte fileira:

- Pré-tratamento (tratamento preliminar):



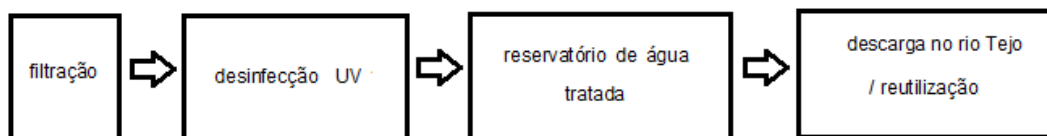
- Tratamento primário:



- Tratamento biológico (tratamento secundário):



- Tratamento de afinação (tratamento terciário):



- As lamas acumuladas na decantação primária e secundária, sofrem o devido tratamento antes de serem transportadas para um destino final.

No Anexo 3, é apresentado o esquema de funcionamento completo da ETAR.

Após a entrada em funcionamento, do novo esquema da ETAR de Beirolas, houve um dos objectivos previstos com as alterações da linha de tratamento que não foi atingido, o da reutilização de todo o efluente. Durante vários anos, foi descarregado no rio Tejo, um efluente que superava em muito a qualidade exigida na licença de descarga do efluente. Desta forma e como não surgiu nenhum projecto para reutilizar o efluente em questão, foi desactivado o sistema de filtração/desinfecção, devido aos elevados encargos associados.

Atualmente o último tratamento que o efluente é sujeito antes de ser descarregado no rio Tejo é o tratamento biológico para remoção de nutrientes, garantindo os valores limite de descarga em linhas de água, sendo a filtração/desinfecção utilizada apenas para tratar uma parte do caudal muito inferior e variável em função das necessidades, para usos na própria ETAR, como as lavagens ou rega dos próprios espaços verdes.

3.3 Parque do Tejo

O Parque do Tejo situado a norte da torre Vasco da Gama, é um imenso espaço verde, procurado para diversas atividades lúdicas, com especial incidência ao fim de semana. Este parque é composto por relvados, zonas arbustivas, prado de sequeiro e árvores em caldeira, com a distribuição apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Dimensão de espaços verdes (fonte:GEURBANA)

	Relvados (m ²)	Zonas Arbustivas (m ²)	Prado Sequeiro (m ²)	Árvores em Caldeira (un)
Parque do Tejo	154473,3	17443,4	9688,3	153

Atualmente o parque é regado com água subterrânea captada em dois furos, sendo o caudal captado de aproximadamente 3600m³/d. A água captada é armazenada num reservatório situado no recinto da ETAR de Beirolas, sendo a partir da ETAR e com recurso à estação elevatória da mesma, que são abastecidas as infraestruturas do sistema de rega do Parque do Tejo.

A desinfecção do efluente da ETAR de Beirolas, (fundamental para a reutilização na rega paisagística) teve início apenas a partir do ano 2000. Como o sistema de rega do parque do Tejo é anterior a esta data, recorreu-se à captação de água subterrânea para alimentar o sistema. Após as obras estarem finalizadas na ETAR, nunca se utilizou o efluente da mesma para regar o parque, embora esse fosse um dos objectivos dos investimentos na linha de tratamento.

A rega das áreas relvadas é efectuada por aspersão (Figura 4), em espaços verdes de maior dimensão (sem presença de árvores/arbustos ou passeios

pedestres) utiliza-se um sistema de aspersores de maior alcance (falcon (Figura 5)). No limite entre espaços verdes e passeios verdes é recorrente a utilização de pulverizadores (Figura 6) Para as zonas arbustivas e para as árvores em caldeira recorre-se ao sistema gota-a-gota (Figura 7). A tubagem desta última rede é em PEAD PN6 Ø63, sendo os gotejadores autocompensantes integrados em tudo PEAD PN6 Ø16 com afastamento de 0,50m. Todo o sistema de rega é alimentado por 3 redes, a rede primária é em PVC PN10 Ø200 e Ø315, a rede secundária é em PEAD PN10 Ø63 e Ø110 e a rede terciária é em PEAD PN10 Ø25 a Ø75. A informação completa do sistema de rega do Parque do Tejo é apresentada no Anexo 5 (em suporte informático).



Figura 4 – Aspersor



Figura 5 – Falcon (fonte: RainBird)



Figura 6 – Pulverizador



Figura 7 – Sistema gota-a-gota

Os relvados, representam a maior área de regadio, no entanto, além da relva, existem diversas espécies vegetais no Parque do Tejo, cuja listagem (não exaustiva) é apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 – Espécies vegetais presentes no Parque do Tejo, (fonte: GEURBANA).

Arbustos	<i>Arbustus unedo</i>	Árvores	<i>Alnus glutinosa</i>
	<i>Calluna vulgaris</i>		<i>Fraxinus angustifolia</i>
	<i>Cistus salvifolius</i>		<i>Fraxinus escelsior</i>
	<i>Coronilla valentina</i>		<i>Olea europaeae var. Sylvestris</i>
	<i>Cytisus scoparius</i>		<i>Pinus pinea</i>
	<i>Erica multiflora</i>		<i>Populus alba</i>
	<i>Lantana camara</i>		<i>Populus nigra</i>
	<i>Lavandula luisierii</i>		<i>Populus tremula</i>
	<i>Lavandula spica</i>		<i>Quercus suber</i>
	<i>Potentilla fruticosa</i>		<i>Salix fragilis</i>
	<i>Rosa canina</i>		<i>Ulmus pumila</i>
	<i>Rosa sempervirens</i>		
	<i>Rosmarinus officinalis</i>		
	<i>Rosmarinus officinalis prostratus</i>		
	<i>Ruscus aculeatus</i>		
<i>Thymus vulgaris</i>			
<i>Ullex densus</i>			

3.4 Reutilização do efluente da ETAR de Beirolas

3.4.1 Potenciais usos do efluente da ETAR de Beirolas

De acordo com o inicialmente projetado, o efluente da ETAR de Beirolas, oferece diversas potencialidades de utilização, quando sujeito ao tratamento adequado. Para tal é necessário que surjam projetos para reutilizar esse efluente, que como indicado, tem um caudal significativo.

Este trabalho pretende estudar a possibilidade de utilização de um dos potenciais usos da água do efluente, isto é, a rega paisagística. Se forem criadas as infraestruturas necessárias, esta aplicação poderá desenvolver-se para além do parque na envolvente da ETAR.

A limpeza urbana ou a limpeza de contentores poderão ser considerada para os municípios próximos da ETAR, potenciais utilizadores para reutilizar o efluente da mesma. Outras aplicações, como o combate a incêndios podiam ser exploradas, sendo necessário efetuar um estudo logístico em conjunto com as corporações de bombeiros nas proximidades.

3.4.2 Caracterização da qualidade do efluente da ETAR de Beirolas

No Quadro 8 apresentam-se os valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros de qualidade do efluente da ETAR de Beirolas, monitorizado no período entre Julho de 2011 e Maio de 2012 (disponibilizados pela SIMTEJO). No Anexo 4 é disponibilizada a informação extensiva das análises ao efluente.

Quadro 8 – Parâmetros efluente ETAR de Beirolas, (fonte:SIMTEJO).

Parâmetro		
SST [mg/L]	Média	7,22
	Mínimo	3,00
	Máximo	18,00
CQO [mg/L O ₂]	Média	46,27
	Mínimo	30,00
	Máximo	81,00
CBO ₅ [mg/L O ₂]	Média	6,44
	Mínimo	6,00
	Máximo	11,00
Azoto Amoniacal [mg/L NH ₄]	Média	10,63
	Mínimo	3,00
	Máximo	25,30

Azoto Kjeldahl [mg/L N]	Média	14,90
	Mínimo	4,00
	Máximo	36,00
Nitratos [mg/L NO ₃]	Média	3,18
	Mínimo	1,00
	Máximo	9,30
Azoto Orgânico [mg/L N]	Média	5,34
	Mínimo	0,49
	Máximo	27,70
Fósforo [mg/L P]	Média	3,44
	Mínimo	2,00
	Máximo	5,90
Bactérias Termotolerantes ufc/100 mL]	Média	46.256,66
	Mínimo	5,00
	Máximo	690.000,00

pH	Média	7,62
	Mínimo	7,00
	Máximo	8,10

Para além dos valores apresentados, também são feitas análises às concentrações de metais pesados, mas com periodicidade semestral, cujos dados disponibilizados pela empresa, referentes a valores máximos, entre Março de 2010 e Março de 2012, são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Concentração máxima de metais pesados no efluente da ETAR de Beirolas (fonte: SIMTEJO).

Parâmetro	Concentração máxima (µg/l)
Cádmio	1
Crómio	5,3
Cobre	16
Chumbo	8
Níquel	9,4
Zinco	130

3.4.3 Avaliação de qualidade segundo a NP4434:2005

Comparando a informação do Quadro 3 com os quadros 8 e 9 (efluente ETAR Beirolas), destacam-se duas evidências, a primeira, é que nem todos os parâmetros previstos na NP4434 estão incluídos nas análises de rotina da

SIMTEJO ao efluente da ETAR de Beirolas (não faz parte das obrigações da mesma), estando em falta a informação relativa aos seguintes parâmetros: Razão de Adsorção de Sódio (RAS) ; Salinidade (Condutividade Eléctrica ($CE_{(dS/m \text{ a } 25^\circ)}$) e Sais Dissolvidos Totais ($SDT_{(mg/L)}$)) e aos Ovos de parasitas intestinais (unidades por litro), informação importante e condicionante na aplicação de ARUT na rega paisagística, a segunda análise de destaque, refere-se ao elevado valor de unidades formadoras de colónias de bactérias termotolerantes por 100mL. Os restantes parâmetros apresentados verificam a normalização portuguesa.

Após a sua instalação, prevê-se que com a filtração, exista uma redução de sólidos em suspensão e com a desinfeção diminuir o número de coliformes fecais para o normalizado.

3.4.4 Alteração da linha de tratamento

A existência de valores de coliformes fecais elevados, relativamente aos padrões de qualidade da norma que se pretende verificar (NP4434:2005), torna necessário uma intervenção na linha de tratamento, sendo que para o efeito, é proposto a criação de uma linha de tratamento específica para a reutilização com um sistema de filtração/desinfeção. O objetivo é tratar um caudal de $150m^3/h$ (caudal atualmente utilizado na rega), para utilização na rega paisagística do Parque do Tejo. Após a instalação do sistema de filtração/desinfeção, prevê-se que com a filtração, exista uma redução de sólidos em suspensão (valores inferiores a $4mg/L$) e com a desinfeção o número de coliformes fecais diminua para os valores normalizados (menos de 100 ufc por 100ml).

3.4.5 Monitorização do sistema de reutilização

Após serem definidos os critérios de aplicação do sistema de reutilização de águas residuais tratadas (SRART), o controlo e monitorização dos mesmos é fundamental, para garantir que a reutilização seja efetuada de forma segura. Este processo consiste na recolha de informação que permita avaliar a qualidade da água utilizada, bem como dos possíveis efeitos da aplicação da mesma no ambiente. Desta forma, devem ser recolhidas amostras periódicas

da água e analisar determinados parâmetros. O número de parâmetros e a periodicidade das avaliações têm impacto nos encargos de operação e manutenção (O&M). De forma a ser feita uma análise estatística rigorosa, os parâmetros e a frequência de recolhas devem garantir a representatividade do objeto de estudo. A forma como as amostras são recolhidas e a sua preservação/conservação até à sua análise, são passos fundamentais e muito importantes para minimizar as alterações das mesmas (ações químicas, físicas e ação de microrganismos).

Para utilização de ARUT na rega paisagística, uma avaliação de pH, CBO, turvação e coliformes fecais deve ser feita com uma periodicidade mínima de uma semana (US EPA, 2004); a NP4434 recomenda também a monitorização semanal da salinidade e de macronutrientes (azoto, nitratos e fósforo). As amostras devem ser recolhidas no reservatório de armazenamento da ETAR e no próprio parque (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Para além da análise à água, deverá ser monitorizado o solo, para controlo de possíveis alterações físicas e químicas, conseqüentes da acumulação de metais pesados ou alteração da sua salinidade. Por motivos de impacto ambiental, a NP4434, recomenda uma análise de cinco em cinco anos aos seguintes metais pesados: cádmio, cobre, níquel, zinco, mercúrio e crómio. No âmbito da definição da fertilização dos espaços verdes, deverá ser feita uma análise anual ao fósforo, potássio, pH e matéria orgânica do solo.

3.4.6 Controlo e segurança

De forma a garantir o melhor funcionamento do SRART, existem algumas medidas fundamentais a aplicar.

De forma a garantir o volume e a qualidade de água pretendida, a operação e manutenção das instalações de tratamento de águas residuais bem como do sistema de rega, é determinante.

As zonas de rega do Parque do Tejo devem estar devidamente sinalizadas, para que fique claro para todos os utilizadores que o espaço é regado com recurso a águas residuais tratadas. Deveram ser distribuídos sinais ao longo do

parque com a seguinte informação: "Atenção! Zona regada com águas residuais tratadas (água não potável) ", a mesma informação deverá ser disponibilizada em inglês.

Todas as tubagens do sistema de rega devem estar claramente identificadas, alertando para o tipo de água que transportam.

Os espaços verdes, deveram ser regados preferencialmente à noite, altura de espectável menor utilização. Antes de se proceder à rega, deverá ser analisada a velocidade do vento, de forma a garantir que na altura da rega, as velocidades do vento sejam inferiores aos máximos normalizados.

A zona envolvente do Parque do Tejo, possui zonas habitacionais localizadas a distâncias inferiores aos mínimos presentes na NP4434:2005 para a rega por aspersão (50m). Este valor parece demasiado conservativo e impossível de garantir neste e em muitos outros casos, pelo que é essencial garantir a fiabilidade do processo de desinfecção do efluente da ETAR de Beirolas

4 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Como anteriormente mencionado, a ETAR de Beirolas foi projetada para que o seu efluente fosse reutilizado. No entanto, os elevados encargos associados à manutenção do sistema de desinfecção, bem como a inexistência de projetos de dimensão compatível com o aproveitamento do caudal do seu efluente desinfetado, levou à desativação do sistema de filtração/desinfecção. Tendo por objetivo uma estimativa de custos, para poder analisar a viabilidade do estudo, a empresa SIMTEJO, forneceu dados de investimento e de operação e manutenção do sistema, que pretendem ser representativos dos valores atuais de mercado. No Quadro 10, são apresentados valores associados à operação e manutenção do sistema de desinfecção projetado para a ETAR e atualmente desativado.

Quadro 10 – Custos de O&M de desinfecção por UV para 54000m³/d, (fonte: SIMTEJO).

Reagentes	€/m ³	0,0016
Energia	€/m ³	0,0275
Mão-de-obra mecânica	€/ano	600
Manutenção lâmpadas	€/ano	44657,14
Administrativos	€/ano	750
Análises	€/ano	5000

Da informação mencionada no quadro acima, destaca-se o elevado custo associado à manutenção das lâmpadas.

A reativação do atual sistema de filtração/desinfecção, para proceder ao tratamento do efluente para a rega paisagística do Parque do Tejo, não se justifica, porque o caudal necessário para a rega é muito inferior á capacidade do sistema instalado.

A destruição do actual sistema também não parece aconselhada, em virtude da eventualidade dos limites de descarga no Tejo dos parâmetros de qualidade do efluente virem a ser alterados, obrigando a uma filtração/desinfeção de todo o caudal efluente, o que poderia ser feito com a reactivação do sistema existente. Sendo assim, para cumprir o objetivo deste trabalho, é proposta a criação de uma linha de tratamento (filtração/desinfeção) num espaço adjacente, para tratar o caudal necessário para a rega do Parque do Tejo.

No quadro 11, são apresentados os encargos associados a esta nova instalação.

Quadro 11 – Custos de Operação e manutenção de desinfecção por UV para 150m³/h, (fonte: SIMTEJO).

Investimento inicial na filtração	€	26045
Investimento inicial na desinfecção	€	64350
Reagentes	€/m ³	0,0016
Energia	€/m ³	0,0275
Mão-de-obra mecânica	€/ano	500
Manutenção lâmpadas	€/ano	4700
Administrativos	€/ano	500
Análises	€/ano	2033

Comparando com o quadro 10 e 11, o valor de destaque, vai para a manutenção de lâmpadas, que está diretamente associado ao caudal em tratamento (solução instalada para caudal de 54000m³/d e solução proposta

para caudal de 3600m³/d), apresentando-se significativamente reduzido na solução proposta.

A aplicação de ARUT, deverá ter associada uma tarifa a aplicar aos utilizadores. Em 2011, a European Water Association (EWA), publicou o documento *Water reuse projects – technical and economic sustainability*, onde apresenta a estrutura que um modelo tarifário deve apresentar. Para os encargos associados ao investimento necessário para a distribuição específica para cada utilizador, estes devem ser pagos na totalidade durante a construção, no que se refere aos encargos associados aos custos gerais de investimento, custos fixos de exploração e o retorno do capital investido, deve ser associada uma tarifa fixa, para os custos variáveis de operação e manutenção, deve ser associada uma tarifa variável.

Neste caso específico, os custos de investimento considerados são os referentes ao tratamento de afinação (infraestruturas de filtração/desinfeção), considerando existentes as estruturas de armazenamento, elevação e distribuição. No entanto, como este projeto se destina a um único utilizador, a tarifa deverá ser negociada. Encontrar outros utilizadores permitiria diminuir estes encargos.

No ano de 2011, os encargos de operação (referentes à energia) dos furos de captação de água, atualmente utilizados pela empresa Parque Expo ascenderam a 20300€. Embora o valor seja elevado, é consideravelmente inferior quando comparado com a aplicação de ARUT, cujo valor associado apenas à energia poderá ser superior a 36000€/ano (3600m³/dia a 0,0275€/m³). A utilização do efluente da ETAR de Beirolas, apenas para rega do Parque do Tejo é uma solução cara e pouco recomendável do ponto de vista financeiro. A diferença de encargos entre a reutilização do efluente da ETAR de Beirolas e a rega com a água dos furos se deve, em larga medida ao facto de esta última não requerer tratamento, contrariamente ao efluente.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Relativamente à avaliação da qualidade do efluente da ETAR de Beirolas para rega paisagística, tomando como referencial os requisitos constantes da NP4434, consta-se que existem duas situações não conformes com a referida norma:

- a) A proximidade do sistema de rega às habitações é inferior ao referido NP 4434



Figura 8 – Distância entre zona habitacional e sistema de rega.

- b) Faltam parâmetros referidos na NP4434 no que se refere à avaliação da qualidade da água para rega paisagística, nomeadamente: "Razão de Adsorção de Sódio (RAS) "; "Salinidade (Condutividade Eléctrica ($CE_{(dS/m \text{ a } 25^\circ)}$) e Sais Dissolvidos Totais ($SDT_{(mg/L)}$))" e aos "Ovos de parasitas intestinais (unidades por litro)", sendo recomendável a obtenção desta informação e posterior análise dos mesmos dados.

Relativamente à distância entre as habitações e a zona de rega, os valores apresentados na NP 4434, são bastante conservativos, no entanto existem

medidas de mitigação possíveis de aplicar, como a utilização de sebes que isolem a zona regada, evitando o transporte de gotículas pelo vento para as zonas habitacionais.

Quanto à construção/aplicação do sistema proposto, a sua condicionante primordial será sempre a financeira. A análise às estimativas de custos apresentadas permite concluir que recorrer ao efluente da ETAR de Beirolas para rega do Parque do Tejo é uma solução mais cara do que a captação subterrânea atualmente em funcionamento. O projecto não é viável financeiramente.

Tendo em conta a salvaguarda do meio ambiente e a gestão de recursos hídricos, a utilização de um sistema do género é importante, para além de diminuir o consumo de recursos, que são cada vez mais escassos, servirá como um passo em frente na dinamização e implementação da reutilização de águas residuais urbanas tratadas em Portugal. Existindo vontade de avançar com o projeto, os encargos financeiros, deverão ser compensados através da implementação de uma tarifa.

Quanto à reutilização em outros espaços verdes, é necessário avaliar os encargos associados ao transporte e armazenamento. Para além de infraestruturas como as condutas, as estações elevatórias e os reservatórios, medidas de transporte alternativas como os camiões cisterna, poderiam ser utilizadas para o transporte de ARUT para rega de jardins municipais, limpeza de ruas e limpeza dos próprios veículos.

Para o desenvolvimento de um projeto de reutilização, existem três aspetos significativos a considerar: a viabilidade económica, a aceitação social e a garantia de que a saúde pública e o meio ambiente são salvaguardados.

Verificando-se que parte do território continental é afectado pela escassez, com maior incidência nas regiões do Alentejo, do Algarve, nordeste transmontano e leste da Beira (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010), Portugal é um país que deverá apostar na reutilização de acordo com o PEAASAR II e o PNUEA. Atualmente, 71% da população é servida por infraestruturas de tratamento, sendo que destas 97% é servida por ETAR (INSAAR, 2010). Desde 2005 que

a NP4434 traça linhas de orientação para aplicação da reutilização no país, associado ao crescente número de técnicos com competência na área a reutilização torna-se numa aposta sólida e viável.

Para que a reutilização venha a ser uma aposta forte no país, seria importante que as medidas previstas no PNUEA e as metas estabelecidas no PEAASAR fossem concretizadas, bem como o estabelecimento de metas legisladas para órgãos governativos e incentivos financeiros para os investidores privados. Os incentivos devem ser apresentados numa perspectiva de desenvolvimento social e económico, tendo em vista a preservação dos recursos hídricos.

5.2 Recomendação e propostas de estudos futuros

O desenvolvimento deste trabalho, permitiu constatar que o efluente da ETAR de Beiroas pode ser reutilizado para rega paisagística, de acordo com o próprio projeto da ETAR, desde que seja sujeito ao tratamento proposto, no entanto, mais importante do que a utilização de uma parte do efluente para a rega do Parque do Tejo, seria o estudo de todas as aplicações possíveis para todo o efluente da ETAR de forma a maximizar as potencialidades da reutilização. Deveriam ser estudados projetos de reutilização de ARUT, analisar quais as infraestruturas ou condições logísticas que necessitariam de ser criadas e respectiva viabilidade financeira.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, D.; Marecos do Monte, Helena; Albuquerque, António – **Water reuse projects-technical and economic sustainability**. European Water Association, 2011t
- Angelakis, A.; Marecos do Monte, H.; Bontoux, L.; Asano, T. – **The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines**. Water Res, 1999.
- Asano, T.; Burton, H.; Tsuchihashi; Tchobanoglous, G. – **Water Reuse – Issues, Technologies and Applications**. Mc Graw-Hill, New York, 2007.
- Comissão Europeia – **Directiva n.º2000/60/CE de 23 de Outubro que estabelece o quadro de acção da política europeia da água**. JOC L327 de 22 de Dezembro, 2000.
- Comissão Europeia – **Directiva n.º91/271/CEE relativa ao tratamento de águas residuais urbanas**. JOC L135/40 de 30 de Maio, 1991.
- DL 152/97. «D.R. I-A Série» 139 (97-06-19).
- DL 236/98. «D.R. I-A Série» 176 (98-08-01)
- Food and Agriculture Organization – **Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century**, 2007.
- Instituto Português da Qualidade – **NP 4434 Reutilização de águas residuais tratadas para rega**, 2005.

- Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais – **Relatório do estado do abastecimento de água e do tratamento de águas residuais: Sistemas públicos urbanos. INSAAR 2010 (Dados 2009; Campanha 2010)**. Instituto da Água I.P., MAMAOT, Julho 2011,
- IRAR – **Recomendação IRAR n.º02/2007 – Utilização de Águas Residuais Tratadas**. IRAR, Lisboa, Portugal, 2007.
- L 58/2005 «D.R. I-A Série» 249 (2005-12-29).
- Marecos do Monte, M.H. (1994). **Contributo para a utilização de águas residuais tratadas para irrigação em Portugal**. TPI 8, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Marecos do Monte, M.H.; Albuquerque, A. – **Reutilização de Águas Residuais. Série Guias Técnicos – Nº14**, Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos, Lisboa, 2010. ISBN 978-989-8360-01-4
- MAOTDR – **Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013**, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa, Portugal, 2007.
- MAMAOT – **Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água 2012-2020**, Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território, Lisboa, Portugal, 2012.

- Mediterranean Wastewater Reuse Working Group (MED WWR WG) – **Final Mediterranean Wastewater Reuse Report.** 2007
- Metcalf & Eddy – **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse.** 3rd edition. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 2003.
- US EPA – **Guidelines for Water Reuse.** Report EPA/625/R-04/108, Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA, 2004
- WHO – **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture.** Technical Reports Series 778, Geneva, Switzerland, World Health Organisation, 1989.
- <http://www.epa.gov/>
(14/09/2012, 10:50)
- <http://maps.google.com/>
(04/09/2012, 16:40)
- <http://www.rainbird.pt/>
(04/09/2012, 17:50)
- <http://www.ratestogo.com/blog/magnificence-at-mono-lake/>
(12/09/2012, 09:50)
- <http://www.ustropics.com/Lanai/index.html>
(12/09/2012, 10:00)

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1 – Qualidade das águas destinadas à rega. Anexo XVI do DL 236/98

Qualidade das águas destinadas à rega

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Alumínio (<i>Al</i>)	mg/l	5,0	20	Risco de improdutividade em solos com $pH < 5,5$. Em solos com $pH > 7$ o risco de toxicidade é eliminado por precipitar o alumínio.
Arsénio (<i>As</i>)	mg/l	0,10	10	Toxicidade variável consoante as culturas, oscilando entre 12 mg/l para a ervado-sudão e 0,05 mg/l para o arroz.
Bário (<i>Ba</i>)	mg/l	1,0		
Berílio (<i>Be</i>)	mg/l	0,5	1,0	
Boro (<i>B</i>)	mg/l	0,3	3,75	Para solos de textura fina e em curtos períodos recomenda-se como concentração máxima 2 mg/l.
Cádmio (<i>Cd</i>)	mg/l	0,01	0,05	Tóxico para o feijoeiro, beterraba e nabo em concentrações da ordem dos 0,1 mg/l em soluções nutritivas. Recomenda-se limites mais restritivos, dado este não se acumular nas plantas e no solo, podendo prejudicar o ser humano.
Chumbo (<i>Pb</i>)	mg/l	5,0	20	As concentrações muito elevadas podem inibir o desenvolvimento celular das culturas.
Cloretos (<i>Cl</i>)	mg/l	70	-	Para a cultura do tabaco recomenda-se uma concentração inferior a 20 mg/l, não devendo exceder os 70 mg/l.
Cobalto (<i>Co</i>)	mg/l	0,05	10	Tóxico em soluções nutritivas para a cultura do tomate na ordem dos 0,1 mg/l. Tende a ser inactivo em solos neutros ou alcalinos.
Cobre (<i>Cu</i>)	mg/l	0,20	5,0	Tóxico em soluções nutritivas com concentrações entre 0,1 mg/l e 1 mg/l para diversas culturas.
Crómio total (<i>Cr</i>)	mg/l	0,10	20	Por se desconhecer o seu efeito tóxico, recomendam-se limites mais restritivos.
Estanho (<i>Sn</i>)	mg/l	2,0		
Ferro (<i>Fe</i>)	mg/l	5,0		Não tóxico em solos bem arejados, mas pode contribuir para a acidificação do solo, tornando indisponível o fósforo e o molibdénio.
Flúor (<i>F</i>)	mg/l	1,0	15	Inactivado em solos neutros e alcalinos.
Lítio (<i>Li</i>)	mg/l	2,5	5,8	Tolerado pela maioria das culturas em concentrações superiores a 5 mg/l; móvel no solo. Tóxico para os citrinos a baixas concentrações (<0,075 mg/l).

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Manganés (<i>Mn</i>)	mg/l	0,20	10	Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos.
Molibdénio (<i>Mo</i>)	mg/l	0,005	0,05	Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem no entanto ocasionar toxicidade nos animais.
Níquel (<i>Ni</i>)	mg/l	0,5	2,0	Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para <i>pH</i> neutro ou alcalino.
Nitratos (<i>NO₃</i>)	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade: CE SDT	dS/m mg/l	1 640		Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.
SAR (*)		8		Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada.
Selénio (<i>Se</i>)	mg/l	0,02	0,05	Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais.
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/l	60		Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
Sulfatos (<i>SO₄</i>)	mg/l	575		
Vanádio (<i>V</i>)	mg/l	0,10	1,0	Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas.
Zinco (<i>Zn</i>)	mg/l	2,0	10,0	Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a <i>pH</i> >6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
<i>pH</i>	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	
Coliformes fecais	/100 ml	100		
Ovos de parasitas intestinais	N/l		1	

(*) A relação de adsorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l: $SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$.

7.2 ANEXO 2 – Métodos analíticos de referência e frequência mínima de amostragem das águas destinadas à rega. Anexo XVII do DL 236/98

Métodos analíticos de referência e frequência mínima de amostragem das águas destinadas à rega

Parâmetros	Expressão dos resultados	Métodos analíticos de referência	Frequência mínima de amostragem (*)
Alumínio (<i>Al</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular	(1)
Arsénio (<i>As</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular	(1)
Bário (<i>Ba</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica	(1)
Berílio (<i>Be</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica	(1)
Boro (<i>B</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular	(1)
Cádmio (<i>Cd</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou polarografia	(1)
Chumbo (<i>Pb</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica Polarografia	(1)
Cloretos (<i>Cl</i>)	mg/l	Titulação (método de Mohr) ou espectrometria de absorção molecular	Semestral (2)
Cobalto (<i>Co</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica	(1)
Cobre (<i>Cu</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular ou polarografia.	(1)
Crómio total (<i>Cr</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular	(1)
Ferro (<i>Fe</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica depois de filtração sobre membrana filtrante (0,45 µm) ou espectrometria de absorção molecular depois de filtração sobre membrana filtrante (0,45 µm).	(1)
Flúor (<i>F</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção molecular ou eléctrodos específicos	(1)
Lítio (<i>Li</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica	(1)
Manganés (<i>Mn</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica Espectrometria de absorção	(1)
Molibdénio (<i>Mo</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica	(1)
Níquel (<i>Ni</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica	(1)
Nitratos (<i>NO₃</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção ou eléctrodos específicos	(1)
Salinidade: CE SDT	dS/m a 25°C mg/l	Electrometria Secagem a 180°C e pesagem	Semestral (2)
SAR		$SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$ (**)	Semestral (2)
Selénio (<i>Se</i>)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica	(1)

Sólidos suspensos totais (SST).	mg/l	Centrifugação (tempo mínimo de cinco minutos; aceleração média de 2800 g a 3000 g), secagem a 105°C e pesagem ou filtração através da membrana filtrante de 0,45 µm, secagem a 105°C e pesagem.	(¹)
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	Gravimetria ou complexometria ou espectrometria	(¹)
Vanádio (V)	mg/l	Absorção atômica	(¹)
Zinco (Zn)	mg/l	Espectrometria de absorção atômica ou espectrometria de absorção molecular	(¹)
pH	Escala de Sorensen	Electrometria	Semestral (²).
Coliformes fecais	/100 ml	Fermentação em tubos múltiplos e subcultura dos tubos positivos em meios de confirmação. Determinação por NMP.	(¹)
Ovos de parasitas intestinais	NI	Contagem com o auxílio de microscópio	(¹)

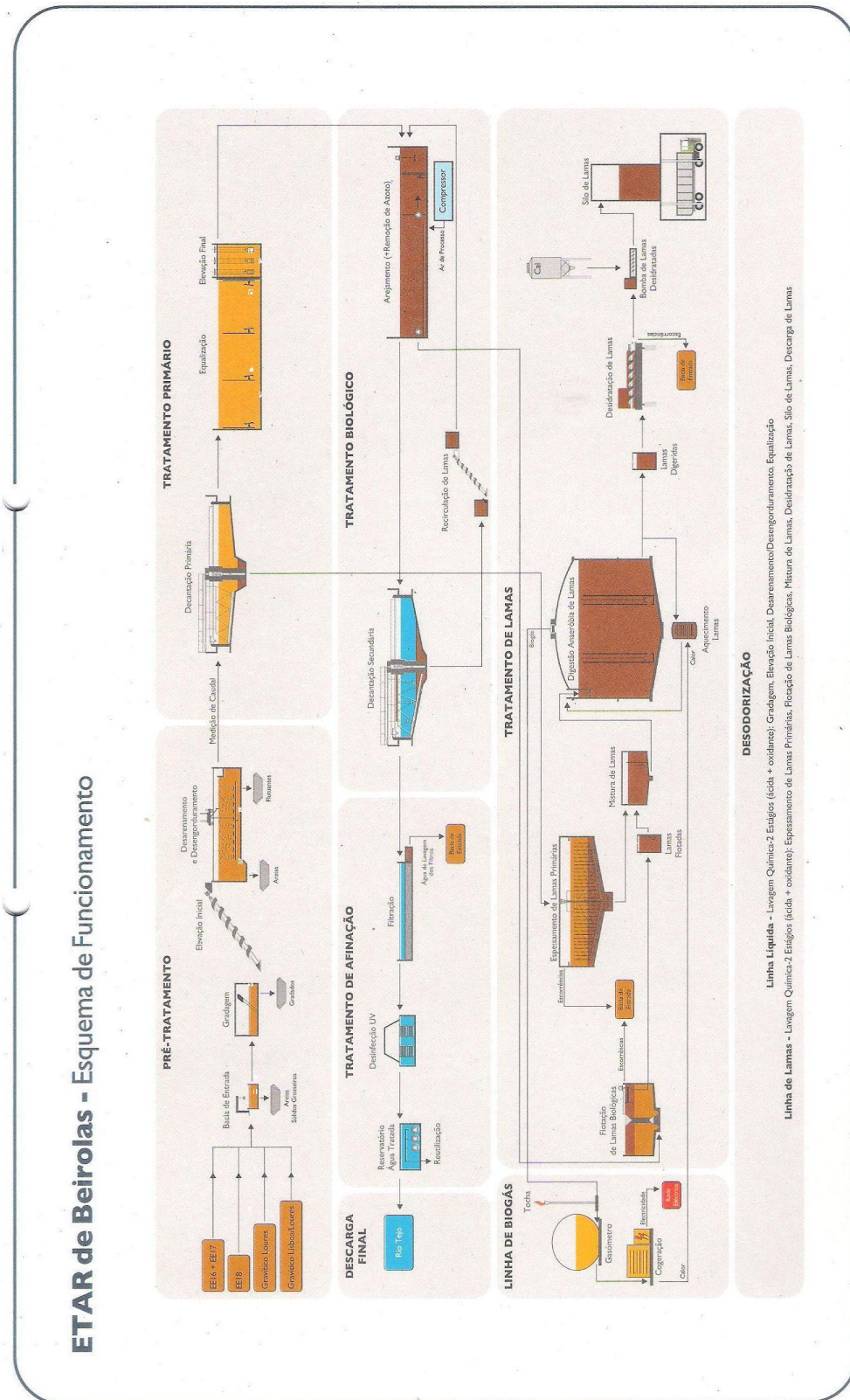
(¹) As águas doces para rega não apresentam normalmente teores elevados deste elemento, pelo que se recomenda uma análise de despistagem. Sempre que haja degradação da água de rega, devem as DRA, com base na fonte poluidora, definir a frequência de amostragem, após parecer das DRAg.

(²) Quando, em dois anos consecutivos, os resultados analíticos forem inferiores ou iguais ao valor máximo recomendado (VMR) e não se verificar nenhum fenómeno susceptível de provocar uma degradação da qualidade da água, recomenda-se como frequência mínima de amostragem uma vez por ano (durante o período de rega). No entanto, as DRA podem definir outra frequência de amostragem, após parecer da DRAg.

(³) Quando não se verificar a conformidade da água para rega, de acordo com o disposto no n.º 2 do artigo 61.º, deve a DRAg definir o prazo para novas amostragens.

(**) Concentração dos cátiões expressa em meq/l.

7.3 ANEXO 3 – Esquema de funcionamento da ETAR de Beirolas (fonte: SIMTEJO).

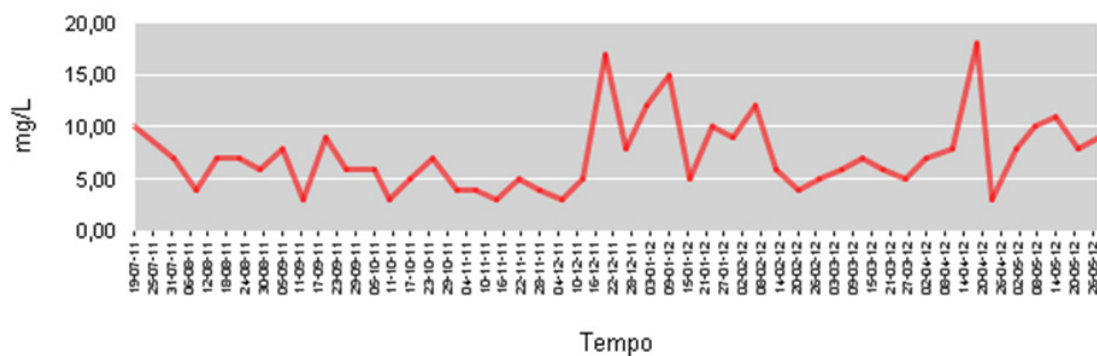


7.4 ANEXO 4 – Análises efluente da ETAR de Beirolas (fonte: SIMTEJO).

Parâmetro: SST Efluente[mg/L]

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



Data	Valor
19-07-2011	10,0
01-08-2011	7,0
08-08-2011	4,0
15-08-2011	7,0
22-08-2011	7,0
29-08-2011	6,0
05-09-2011	8,0
12-09-2011	3,0
19-09-2011	9,0
26-09-2011	6,0
05-10-2011	6,0
10-10-2011	<3,0000
17-10-2011	5,0
24-10-2011	7,0
01-11-2011	4,0
07-11-2011	4,0

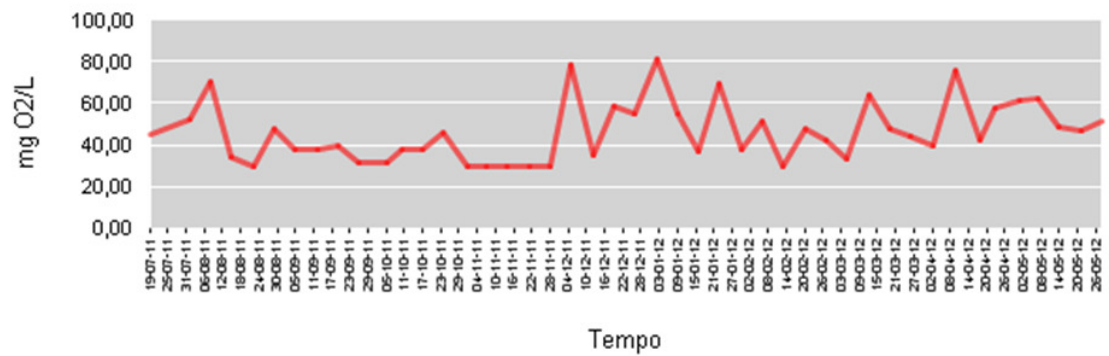
14-11-2011	3,0
21-11-2011	5,0
28-11-2011	4,0
05-12-2011	3,0
12-12-2011	5,0
19-12-2011	17,0
26-12-2011	8,0
02-01-2012	12,0
09-01-2012	15,0
16-01-2012	5,0
23-01-2012	10,0
30-01-2012	9,0
06-02-2012	12,0
13-02-2012	6,0
20-02-2012	4,0
27-02-2012	5,0
05-03-2012	6,0
12-03-2012	7,0
19-03-2012	6,0
26-03-2012	5,0
02-04-2012	7,0
10-04-2012	8,0
18-04-2012	18,0
23-04-2012	<3,0000
01-05-2012	8,0
07-05-2012	10,0
14-05-2012	11,0
21-05-2012	8,0
28-05-2012	9,0
Média	7,22
Mínimo	3,00
Máximo	18,00

CQO Efluente[mg O2/L]

Parâmetro:

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



Data	Valor
19-07-2011	45,0
01-08-2011	52,0
08-08-2011	70,0
15-08-2011	34,0
22-08-2011	<30,0000
29-08-2011	48,0
05-09-2011	38,0
12-09-2011	38,0
19-09-2011	40,0
26-09-2011	31,0
05-10-2011	31,0
10-10-2011	38,0
17-10-2011	38,0
24-10-2011	46,0
01-11-2011	<30,0000
07-11-2011	<30,0000
14-11-2011	<30,0000
21-11-2011	<30,0000

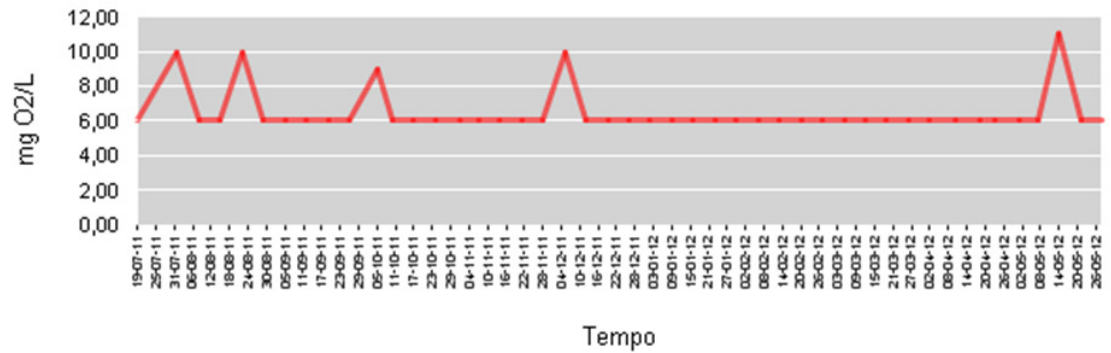
28-11-2011	<30,0000
05-12-2011	78,0
12-12-2011	35,0
19-12-2011	59,0
26-12-2011	55,0
02-01-2012	81,0
09-01-2012	55,0
16-01-2012	37,0
23-01-2012	69,0
30-01-2012	38,0
06-02-2012	51,0
13-02-2012	<30,0000
20-02-2012	48,0
27-02-2012	42,0
05-03-2012	33,0
12-03-2012	64,0
19-03-2012	48,0
26-03-2012	44,0
02-04-2012	40,0
10-04-2012	76,0
18-04-2012	42,0
23-04-2012	58,0
01-05-2012	61,0
07-05-2012	62,0
14-05-2012	49,0
21-05-2012	47,0
28-05-2012	51,0
Média	46,27
Mínimo	30,00
Máximo	81,00

CBO5 Efluente[mg O2/L]

Parâmetro:

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



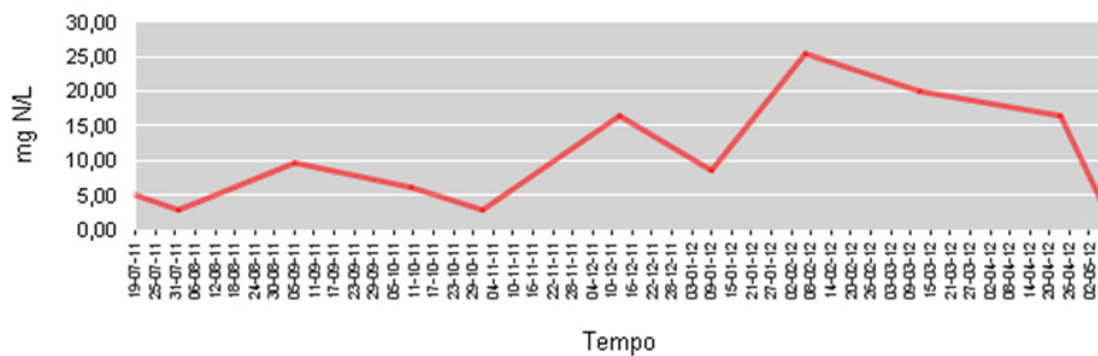
Data	Valor
19-07-2011	<6,0000
01-08-2011	10,0
08-08-2011	<6,0000
15-08-2011	<6,0000
22-08-2011	10,0
29-08-2011	<6,0000
05-09-2011	<6,0000
12-09-2011	<6,0000
19-09-2011	<6,0000
26-09-2011	<6,0000
05-10-2011	9,0
10-10-2011	<6,0000
17-10-2011	<6,0000
24-10-2011	<6,0000
01-11-2011	<6,0000
07-11-2011	<6,0000
14-11-2011	<6,0000
21-11-2011	<6,0000

28-11-2011	<6,0000
05-12-2011	10,0
12-12-2011	<6,0000
19-12-2011	<6,0000
26-12-2011	<6,0000
02-01-2012	<6,0000
09-01-2012	<6,0000
16-01-2012	<6,0000
23-01-2012	6,0
30-01-2012	<6,0000
06-02-2012	<6,0000
13-02-2012	<6,0000
20-02-2012	<6,0000
27-02-2012	<6,0000
05-03-2012	<6,0000
12-03-2012	<6,0000
19-03-2012	<6,0000
26-03-2012	<6,0000
02-04-2012	<6,0000
10-04-2012	<6,0000
18-04-2012	<6,0000
23-04-2012	<6,0000
01-05-2012	<6,0000
07-05-2012	<6,0000
14-05-2012	11,0
21-05-2012	<6,0000
28-05-2012	<6,0000
Média	6,44
Mínimo	6,00
Máximo	11,00

Parâmetro: Azoto Amoniacal Efluente[mg N/L]

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



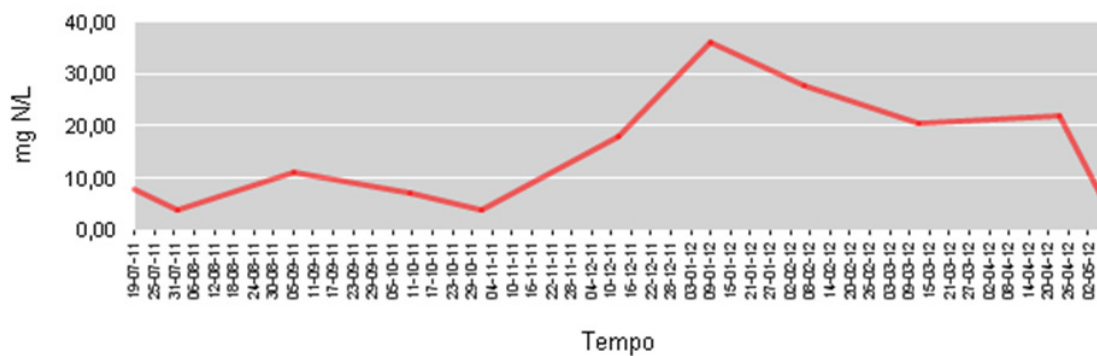
Data	Valor
19-07-2011	5,0
01-08-2011	<3,0000
05-09-2011	9,7
10-10-2011	6,3
01-11-2011	<3,0000
12-12-2011	16,5
09-01-2012	8,5
06-02-2012	25,3
12-03-2012	20,0
23-04-2012	16,6
07-05-2012	<3,0000
Média	10,63
Mínimo	3,00
Máximo	25,30

Azoto Kjeldahl Efluente[mg N/L]

Parâmetro:

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



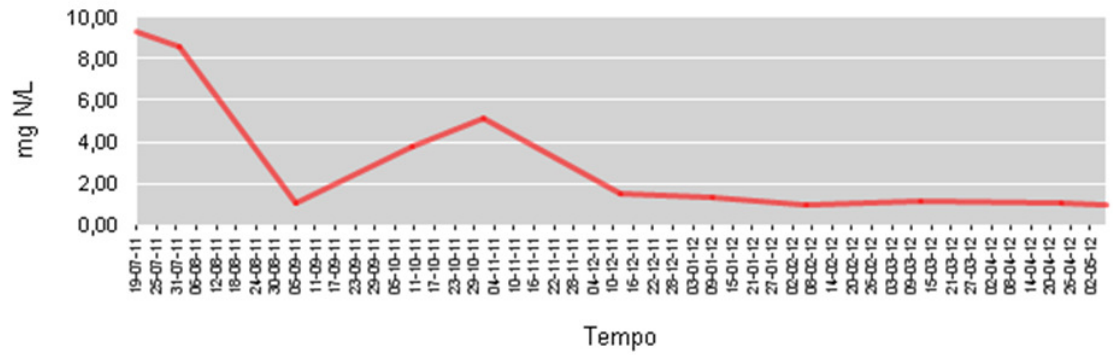
Data	Valor
19-07-2011	7,7
01-08-2011	<4,0000
05-09-2011	11,3
10-10-2011	7,0
01-11-2011	<4,0000
12-12-2011	17,9
09-01-2012	36,0
06-02-2012	27,9
12-03-2012	20,5
23-04-2012	22,1
07-05-2012	5,5
Média	14,90
Mínimo	4,00
Máximo	36,00

Nitratos Efluente[mg N/L]

Parâmetro:

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas

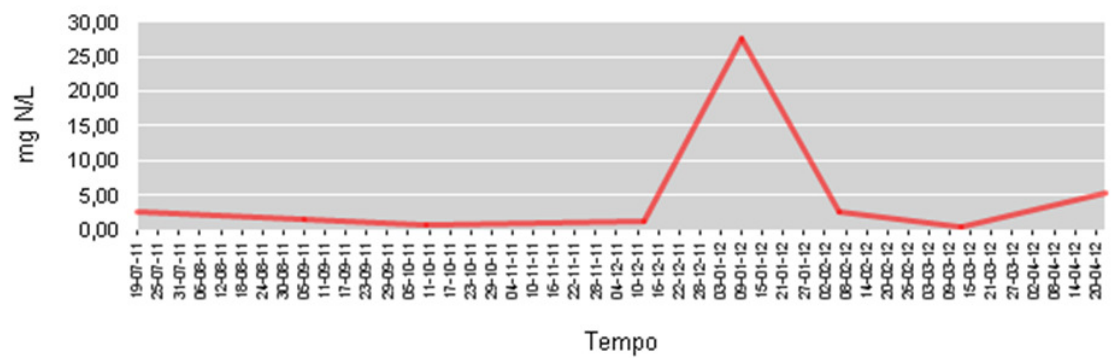


Data	Valor
19-07-2011	9,3
01-08-2011	8,6
05-09-2011	1,1
10-10-2011	3,8
01-11-2011	5,1
12-12-2011	1,5
09-01-2012	1,3
06-02-2012	<1,0000
12-03-2012	1,2
23-04-2012	1,1
07-05-2012	<1,0000
Média	3,18
Mínimo	1,00
Máximo	9,30

Parâmetro: Azoto Orgânico Efluente[mg N/L]

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas

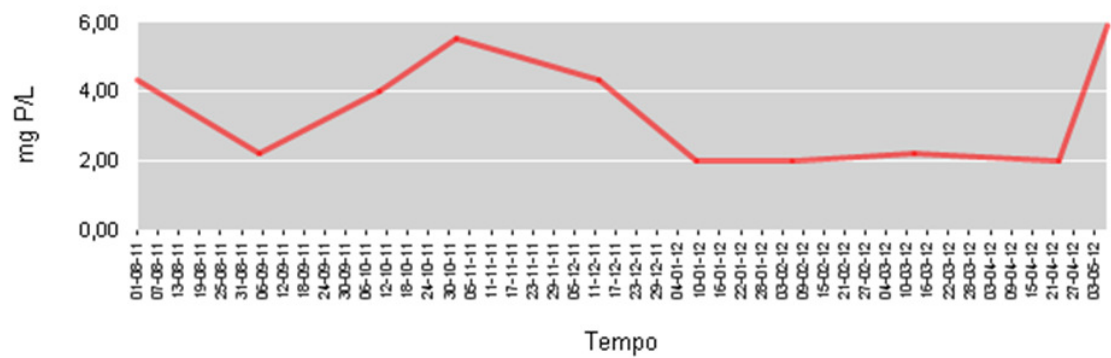


Data	Valor
19-07-2011	2,7
05-09-2011	1,6
10-10-2011	,7
12-12-2011	1,4
09-01-2012	27,7
06-02-2012	2,6
12-03-2012	,5
23-04-2012	5,5
Média	5,34
Minímo	0,49
Máximo	27,70

Parâmetro: Fósforo Efluente[mg P/L]

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



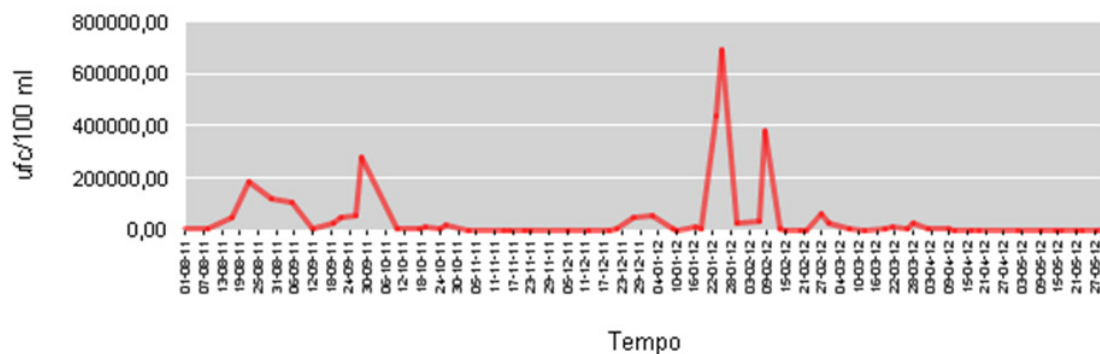
Data	Valor
01-08-2011	4,3
05-09-2011	2,2
10-10-2011	4,0
01-11-2011	5,5
12-12-2011	4,3
09-01-2012	<2,0000
06-02-2012	<2,0000
12-03-2012	2,2
23-04-2012	<2,0000
07-05-2012	5,9
Média	3,44
Mínimo	2,00
Máximo	5,90

Bactérias Termotolerantes Efluente[ufc/100 ml]

Parâmetro:

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



Data	Valor
01-08-2011	7820,0
08-08-2011	3730,0
16-08-2011	49000,0
22-08-2011	190000,0
29-08-2011	120000,0
05-09-2011	110000,0
12-09-2011	7640,0
19-09-2011	28000,0
21-09-2011	46000,0
26-09-2011	57300,0
28-09-2011	280000,0
10-10-2011	3180,0
17-10-2011	5540,0
19-10-2011	16000,0
24-10-2011	5360,0
26-10-2011	18200,0
02-11-2011	13,0
14-11-2011	16,0

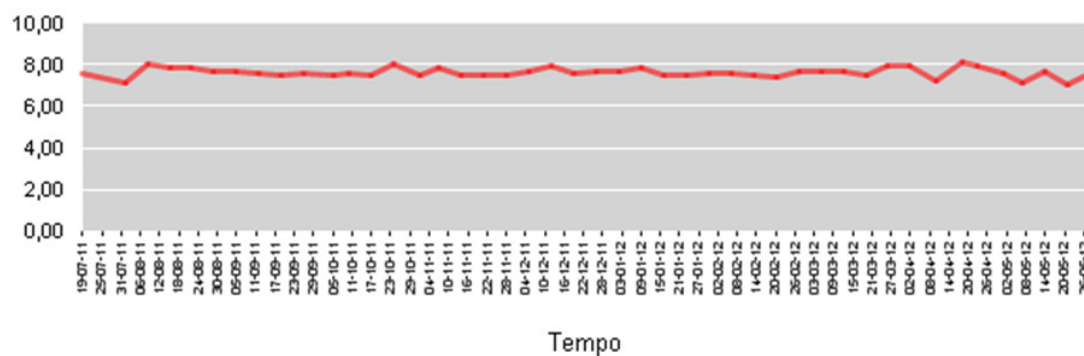
16-11-2011	25,0
21-11-2011	5,0
23-11-2011	57,0
05-12-2011	145,0
12-12-2011	50,0
19-12-2011	336,0
21-12-2011	5000,0
27-12-2011	51000,0
02-01-2012	54000,0
09-01-2012	8910,0
10-01-2012	2000,0
16-01-2012	12000,0
18-01-2012	4200,0
23-01-2012	440000,0
25-01-2012	690000,0
30-01-2012	26400,0
06-02-2012	38000,0
08-02-2012	380000,0
13-02-2012	4000,0
15-02-2012	700,0
20-02-2012	23,0
22-02-2012	51,0
27-02-2012	63000,0
29-02-2012	26000,0
07-03-2012	3450,0
12-03-2012	5,0
19-03-2012	2500,0
21-03-2012	11000,0
26-03-2012	3820,0
28-03-2012	27000,0
02-04-2012	7550,0
09-04-2012	4820,0
11-04-2012	1090,0
16-04-2012	382,0
19-04-2012	91,0
02-05-2012	23,0
09-05-2012	46,0

14-05-2012	663,0
16-05-2012	1300,0
21-05-2012	1360,0
23-05-2012	255,0
28-05-2012	1600,0
30-05-2012	1000,0
Média	46.256,66
Mínimo	5,00
Máximo	690.000,00

Parâmetro: pH Efluente[]

Subsistema: Beirolas

Etar: Beirolas



Data	Valor
19-07-2011	7,6
01-08-2011	7,1
08-08-2011	8,0
15-08-2011	7,8
22-08-2011	7,8
29-08-2011	7,7
05-09-2011	7,7
12-09-2011	7,6
19-09-2011	7,5
26-09-2011	7,6
05-10-2011	7,5
10-10-2011	7,6
17-10-2011	7,5
24-10-2011	8,0
01-11-2011	7,5
07-11-2011	7,8
14-11-2011	7,5
21-11-2011	7,5

28-11-2011	7,5
05-12-2011	7,7
12-12-2011	7,9
19-12-2011	7,6
26-12-2011	7,7
02-01-2012	7,7
09-01-2012	7,8
16-01-2012	7,5
23-01-2012	7,5
30-01-2012	7,6
06-02-2012	7,6
13-02-2012	7,5
20-02-2012	7,4
27-02-2012	7,7
05-03-2012	7,7
12-03-2012	7,7
19-03-2012	7,5
26-03-2012	7,9
02-04-2012	7,9
10-04-2012	7,2
18-04-2012	8,1
23-04-2012	7,9
01-05-2012	7,6
07-05-2012	7,1
14-05-2012	7,7
21-05-2012	7,0
28-05-2012	7,6
Média	7,62
Minímo	7,00
Máximo	8,10

7.5 ANEXO 5 – Sistema de rega do Parque do Tejo (fonte: Parque Expo).