



André Filipe David Soares Caetano Piteira

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA – USOS NÃO POTÁVEIS – CASOS DE ESTUDO: REFORÇO DE ALBUFEIRA E REGA DE ESPAÇOS VERDES

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Marco José dos Santos Machado, EPAL/ AdVT

Co-orientador: Leonor Miranda Monteiro do Amaral,
Prof. Associada, FCT-NOVA

Presidente: Prof. Doutor António Pedro Macedo Coimbra Mano

Arguente: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho

Vogal: Engenheiro Marco José dos Santos Machado



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2020



André Filipe David Soares Caetano Piteira

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA – USOS NÃO POTÁVEIS – CASOS DE ESTUDO: REFORÇO DE ALBUFEIRA E REGA DE ESPAÇOS VERDES

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Marco José dos Santos Machado, EPAL /AdVT

Co-orientador: Leonor Miranda Monteiro do Amaral,
Prof. Associada, FCT-NOVA

Presidente: Prof. Doutor António Pedro Macedo Coimbra Mano

Arguente: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho

Vogal: Engenheiro Marco José dos Santos Machado

Reutilização de água – usos não potáveis – casos de estudo: recarga de albufeira e rega de espaços verdes

Copyright © André Filipe David Soares Caetano Piteira, Faculdade de Ciências e Tecnologias,
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“One final paragraph of advice: do not burn yourselves out. Be as I am, a reluctant enthusiast, a part-time crusader, a half-hearted fanatic. Save the other half of yourselves and your lives for pleasure and adventure.”

Edward Abbey

-

Agradecimentos

Todos os percursos académicos têm os seus pontos altos e baixos, como tal, não posso deixar de agradecer a todos os que me acompanharam e contribuíram, de uma forma ou outra, para o sucesso do meu.

Quero agradecer aos meus pais, por terem sido sempre interessados e empenhados na minha educação e formação. Por estarem sempre dispostos a fazer os sacrifícios necessários e por me apoiarem sempre nas minhas decisões.

Quero agradecer, em geral, a todo o corpo docente, da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, pela competência e qualidade de ensino. Em particular, quero agradecer à professora Leonor Amaral pela dedicação e carinho que sempre demonstrou por todos os seus alunos. Quero ainda agradecer ao professor Pedro Coelho pela conduta profissional que sempre demonstrou, que sem dúvida serviu como uma influência fundamental na minha formação.

Quero agradecer à EPAL, em particular ao engenheiro Marco Machado, engenheira Ana Pimenta e engenheira Marta Lavado, pela atenção, disponibilidade e auxílio incansável que demonstraram durante todo o desenvolvimento deste projeto.

Quero agradecer, sem exceção, a todo o meu grupo de amigos (Gucci) pela amizade, camaradagem e união, que levarei para toda a vida.

Quero ainda deixar um agradecimento especial ao meu grande amigo Tiago Perry, que desde o primeiro dia de faculdade demonstrou ser um excelente colega e enorme amigo.

A todos, sem exceção, o meu muito obrigado.

Resumo

A presente dissertação pretende contribuir para a reflexão sobre a aplicação prática do Guia para Reutilização de Água – Usos Não Potáveis, publicado pela Agência Portuguesa do Ambiente, recorrendo a dois casos de estudo: um para recarga de albufeira e, outro, para rega de espaços verdes.

Os objetivos principais desta tese, foram verificar a aplicabilidade do Guia da APA, assim como, avaliar a viabilidade dos projetos de licenciamento considerados como casos de estudo. Neste sentido, desenvolveram-se estudos para caracterizar a qualidade do efluente tratado, as características do meio recetor e possíveis impactos da implementação de cada um dos projetos.

Inicialmente foi realizada uma avaliação do potencial de reutilização de água para implantação do projeto de reutilização. Nesta fase foram avaliadas, as características geográficas do terreno entre o ponto de produção e o ponto de entrega, a capacidade de produção de água para reutilização face às necessidades de água do utilizador final e uma análise custo-benefício. Posteriormente realizou-se uma avaliação do risco, seguindo a metodologia proposta pelo Guia, determinando-se o risco para o ser humano e ambiente em geral.

Na fase final, deste caso de estudo, determinaram-se os planos de monitorização a realizar e respetivos parâmetros a respeitar, assim como, a comunicação do risco. Ao nível da comunicação do risco, procedeu-se à classificação do grau de qualidade da água, codificação dos equipamentos envolvidos na produção, distribuição e aplicação da água para reutilização, assim como a informação a fornecer ao público e trabalhadores dos sistemas de produção e aplicação da ApR (água para reutilização).

O primeiro caso de estudo, com o objetivo de reutilização para reforço de uma albufeira, consiste num projeto de utilização da água residual tratada, da ETAR de São Miguel de Machede, para rega da vinha pertencente à LOGOVINHA, S.A.. O segundo caso de estudo, com o objetivo de reutilização para irrigação de espaços verdes, consiste na possibilidade de irrigação, dos espaços verdes pertencentes à zona industrial de Évora, utilizando água residual tratada da ETAR de Évora.

Palavras-chave: Reutilização, Água residual tratada, Água para reutilização, Rega agrícola, Rega espaços verdes, Avaliação de risco

Abstract

This dissertation intends to contribute to the reflection on the practical application of the Guide for Water Reuse - Non-Potable Uses, published by the Portuguese Environment Agency, using two case studies, namely for weir refill and irrigation of green spaces.

The main objectives of this thesis were to verify the applicability of the APA Guide, as well as to verify the viability of the projects considered as case studies. In this sense, studies were developed to characterize the quality of the treated effluent, the characteristics of the receiving environment and possible impacts of the implementation of each of the projects.

Initially, an assessment was made of the potential for water reuse to implement the reuse project. In this phase, the geographical characteristics of the land between the point of production and the point of delivery, the capacity to produce water for reuse in view of the water needs of the end user and a cost-benefit analysis were evaluated. Subsequently, a risk assessment was carried out, following the methodology proposed by the Guide, determining the risk for human beings and the environment in general.

In the final phase of this case study, the monitoring plans to be carried out and the respective parameters to be respected were determined, as well as the risk communication. In terms of risk communication, the degree of water quality was classified, the equipment involved in the production, distribution and application of water for reuse was coded, as well as the information to be provided to the public and workers in the production and application systems of WfR (water for reuse).

The first case study, with the objective of reusing it for reinforcement of reservoir, consists of a project to use treated waste water, from the WWTP in São Miguel de Machede, for irrigation of the vineyard belonging to LOGOVINHA, SA. the purpose of reusing green spaces for irrigation consists of the possibility of irrigating the green spaces belonging to the industrial area of Évora, using treated waste water from the Évora WWTP.

Key-words: Reuse, Treated waste water, Water for reuse, Agricultural irrigation, Green space irrigation, Risk assessment

Índice geral

1.	Introdução.....	1
2.	Revisão bibliográfica	3
2.1.	Importância da reutilização de água	4
2.2.	Economia circular	5
2.3.	Benefícios e riscos associados à reutilização de água.....	6
2.4.	Enquadramento Decreto-Lei nº 119/2019.....	8
2.5.	Enquadramento do Guia	9
3.	Metodologia adotada.....	11
4.	Caso de estudo: Recarga de albufeira.....	13
4.1.	Enquadramento	13
4.2.	Avaliação do potencial de reutilização de água para implantação do projeto	14
4.3.	Normas de qualidade mínima	15
4.3.1.	Metodologia proposta no Guia	15
4.3.2.	Aplicação ao caso de estudo	18
4.3.3.	Resultados.....	19
4.4.	Avaliação do risco	20
4.4.1.	Avaliação do risco sobre a saúde	21
4.4.1.1.	Identificação de perigos sobre a saúde.....	21
4.4.1.2.	Identificação de recetores e vias de exposição	22
4.4.1.3.	Identificação de cenários de exposição	23
4.4.1.4.	Relação entre dose de agente contaminante com via de exposição e probabilidade de ocorrência de doença	24
4.4.1.4.1.	Metodologia proposta no Guia	24
4.4.1.4.2.	Aplicação ao caso de estudo	25
4.4.1.5.	Barreiras/medidas de prevenção	27
4.4.1.5.1.	Barreiras aplicadas no caso de estudo	27
4.4.1.6.	Eventos adversos	28
4.4.1.6.1.	Metodologia proposta no Guia	28
4.4.1.6.2.	Aplicação ao caso de estudo	28
4.4.1.7.	Caraterização do risco.....	29
4.4.2.	Avaliação do risco sobre recursos hídricos.....	34
4.4.2.1.	Identificação dos perigos sobre os recursos hídricos	34
4.4.2.2.	Identificação de recetores, vias de exposição, cenários de exposição e barreiras	34
4.4.2.2.1.	Metodologia proposta no Guia	34
4.4.2.2.2.	Aplicação ao caso de estudo	35
4.4.2.3.	Eventos adversos	36
4.4.2.4.	Caraterização do risco.....	37

4.5.	Gestão do risco (normas de qualidade e de barreiras a aplicar)	44
4.6.	Licenciamento de produção e utilização de ApR	46
4.7.	Planos de monitorização	47
4.7.1.	Amostragem e metodologias analíticas	47
4.7.2.	Monitorização de validação	48
4.7.3.	Monitorização de verificação de desempenho ou operacional	49
4.7.4.	Definição de planos de segurança	50
4.7.5.	Monitorização de verificação de conformidade	51
4.7.6.	Monitorização das ApR	51
4.7.7.	Monitorização do meio recetor	53
4.7.8.	Verificação da conformidade com os requisitos da licença	53
4.8.	Comunicação do risco	54
4.8.1.	Classificação de graus de qualidade da água	54
4.8.2.	Codificação (equipamentos para uso de ApR)	55
4.8.3.	Informação ao público e trabalhadores dos sistemas de produção de ApR.....	56
4.9.	Análise de resultados	57
5.	Caso de estudo: Rega de espaços verdes	61
5.1.	Enquadramento	61
5.2.	Dimensionamento da linha adutora.....	61
5.3.1.	Avaliação do risco sobre a saúde	65
5.3.1.1.	Identificação dos perigos.....	65
5.3.1.3.	Relação entre dose de agente contaminante e probabilidade de ocorrência de doença	66
5.3.1.4.	Barreiras/medidas de prevenção	66
5.3.1.5.	Identificação de eventos adversos	67
5.3.2.	Avaliação do risco sobre os recursos hídricos	69
5.3.2.1.	Identificação dos perigos sobre os recursos hídricos	69
5.3.3.	Análise de resultados	75
6.	Considerações finais	77
7.	Referências Bibliográficas.....	79
Anexo I		85
	Listagem de elementos a apresentar com os requerimentos para obtenção de licença de produção e utilização de ApR	85
Anexo II		87
	Árvore de decisão para definição de pontos críticos de controlo num sistema de reutilização	87

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema da metodologia adotada	12
Figura 2. Matriz de determinação do dano.....	32
Figura 3. Vias de exposição para os recursos hídricos.....	35
Figura 4. Matriz de avaliação do risco para as águas superficiais e subterrâneas	38
Figura 5. Distribuição de sistemas aquíferos no Maciço Antigo	39
Figura 6. Matriz de determinação do dano.....	43
Figura 7. Pantone 512 para identificação de tubagens de ApR.....	56
Figura 8. Simbologia a utilizar quando a qualidade da ApR é de Classe B ou C	57
Figura 9. Percorso da adutora desde o ponto de origem até ao ponto de entrega	62
Figura 10. Enquadramento geográfico da área em estudo	72

Índice de Tabelas

Tabela 1: Normas de qualidade de água para reutilização para rega.	15
Tabela 2: Normas de qualidade de ApR para regas referentes à proteção das culturas agrícolas, florestais e solos.	16
Tabela 3: Valores das análises da água da ETAR de S. Miguel de Machede referentes às Normas de qualidade de água para reutilização para rega.	18
Tabela 4: Valores dos respetivos parâmetros das normas de qualidade de ApR para regas referentes à proteção das culturas agrícolas, florestais e solos, presentes na ApR da ETAR de S. Miguel de Machede.	19
Tabela 5: Usos e tipos de tratamento adequados em função das várias classes de qualidade da água.....	17
Tabela 6: Microrganismos patogénicos vulgarmente detetados em águas residuais brutas.....	21
Tabela 7: Identificação de vias de exposição diretas por recetor para a rega da vinha da LOGOWINES S.A.....	22
Tabela 8: Identificação de vias de exposição diretas e indiretas para os seres humanos através de outros recetores.....	23
Tabela 9: Identificação de cenários de exposição afetos aos trabalhadores da vinha e envolvência.....	24
Tabela 10: Escala de importâncias.....	25
Tabela 11: Fatores de importância associados á probabilidade de ocorrência de doença.	25
Tabela 12: Relação entre dose de agente contaminante, via de exposição e probabilidade de ocorrência de doença.	26
Tabela 13: Tipo de barreiras e correspondência com o número de barreiras equivalentes.....	27
Tabela 14: Medidas de probabilidade de ocorrência de eventos adversos.	28
Tabela 15: Possíveis eventos adversos e respetivas probabilidades.	29
Tabela 16: Níveis de perigo, por tipo de tratamento, associados à <i>E. coli</i>	29
Tabela 17: Fatores de importância associados às vias de exposição afetas aos recetores: trabalhador da vinha e envolvência.....	30
Tabela 18: Vulnerabilidades associadas aos cenários de exposição afetos aos recetores: trabalhadores da vinha e envolvência.....	31
Tabela 19: Priorização de danos.	32
Tabela 20: Barreiras equivalentes e dano associado.....	33
Tabela 21: probabilidades de ocorrência associadas aos eventos adversos.	36

Tabela 22: Nível de perigo para aplicação de ApR em zonas sensíveis à eutrofização, vulnerabilidade à poluição por nitratos ou massas de água com estado inferior a bom (parâmetros responsáveis N ou P).	37
Tabela 23: Vulnerabilidade dos recursos hídricos expressa em importância.	40
Tabela 24: Definição de barreiras a aplicar e respetivos fatores de importância associados. ..	41
Tabela 25: Barreiras implementadas e respetivo número de cenários de exposição associado.	41
Tabela 26: Probabilidade ocorrência de exposição dos recursos hídricos à contaminação.	42
Tabela 27: Severidade dos danos para os recursos hídricos.	42
Tabela 28: Dano associado aos recursos hídricos.....	43
Tabela 29: Quadro-modelo para a gestão do risco sobre a saúde e recursos hídricos	45
Tabela 30: Pontos críticos, respetivos planos de monitorização de desempenho ou operacional e frequência de amostragem.....	49
Tabela 31: Resumo do conteúdo de um plano de segurança.....	50
Tabela 32: aspetos qualitativos problemáticos mais comuns no armazenamento de ApR.	51
Tabela 33: Parâmetros a monitorizar nas ApR ..	52
Tabela 34: Parâmetros a analisar e respetiva periodicidade de amostragem para águas de classe C.....	52
Tabela 35: Número máximo de amostras que poderão ser não conformes.	54
Tabela 36: Grau de qualidade da água por exemplos de aplicação de ApR e tipo de tratamento adequado.....	55
Tabela 37: Identificação de vias de exposição diretas por recetor.	65
Tabela 38: Identificação de vias de exposição diretas e indiretas para os seres humanos através de outros recetores.....	66
Tabela 39: Tipo de barreiras e correspondência com o número de barreiras equivalentes.	67
Tabela 40: Fatores de importância associados às vias de exposição afetas ao ser humano. ..	68
Tabela 41: Vulnerabilidades associadas aos cenários de exposição afetas ao ser humano. ...	68
Tabela 42: Barreiras equivalentes e dano associado.....	69
Tabela 43: Probabilidades de ocorrência associadas aos eventos adversos.....	70
Tabela 44: Barreiras implementadas e respetivo número de cenários de exposição associado.	73
Tabela 45: Dano associado aos recursos hídricos.....	74

Lista de Acrónimos

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ApR	Água para Reutilização
ART	Água Residual Tratada
ARS	Administração Regional de Saúde
CBO5	Carência Bioquímica de Oxigénio
CQO	Carência Química de Oxigénio
DGADR	Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural
DGS	Direção-Geral da Saúde
DRAP	Direção Regional de Agricultura e Pescas
E. coli	Escherichia coli
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ISO	Organização Internacional para a Normalização
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
NQA	Norma de Qualidade Ambiental
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	potencial Hidrogeniónico
QMRA	Quantitative Microbial Risk Assessment
SILiAmb	Sistema Integrado de Licenciamento do Ambiente
SST	Sólidos Suspensos Totais
TUR	Título de Utilização de Recursos Hídricos
Ufc	Unidades Formadoras de Colónias

1. Introdução

Considerando o atual estado de alteração e degradação ambiental em todo o globo, onde se registam vários impactos negativos em consequência do atual aquecimento global, é de realçar que dos impactos mais preocupantes destacam-se os impactos sobre os recursos hídricos. Tem-se registado, sendo de prever um aumento, a ocorrência de alterações meteorológicas extremas, como o aumento das ondas de calor e secas mais intensas. No que concerne aos recursos hídricos, tais ocorrências representam a diminuição drástica da disponibilidade e qualidade hídrica em determinadas zonas do globo. O novo paradigma da economia circular surge como uma estratégia viável para alcançar a mitigação de tais alterações climáticas. Na ótica dos recursos hídricos, recorrendo ao conceito de economia circular, revela-se pertinente considerar as águas residuais tratadas como um potencial de utilização e não como desperdício. Uma água residual tratada, pode ser valorizada, tanto a nível ambiental como económico e financeiro, através da sua utilização em várias áreas, como a indústria, agricultura ou irrigação.

Tendo em consideração as orientações mais recentes em termos de legislação europeia e com as correspondentes transposições e adaptações para os normativos nacionais, tomou-se como referência o recente Guia Para a Reutilização de Água – Usos não potáveis produzido pela Agência Portuguesa do Ambiente, adiante designado por Guia, sendo o objetivo, realizar uma análise crítica e através de aplicação a casos de estudo, avaliar as dificuldades, as consistências e as vulnerabilidades que resultem da aplicação do mencionado Guia.

Ao longo deste trabalho serão descritos todos os pontos previstos no Guia para o desenvolvimento de um projeto de reutilização de águas residuais tratadas, nomeadamente, normas de qualidade mínima a cumprir, avaliação do risco para a saúde, avaliação de risco para o meio hídrico, licenciamento e planos de monitorização, tendo como objetivo descrever todo o procedimento inerente ao desenvolvimento de um projeto de licenciamento deste tipo.

Por uma questão de facilidade de leitura e apresentação a presente dissertação seguirá a estrutura do Guia, sendo aqui reproduzidas algumas tabelas para melhor análise e compreensão dos resultados.

2. Revisão bibliográfica

Historicamente, a necessidade de desenvolvimento de sistemas de coleta de águas residuais e pluviais, surgiu com o crescimento de povoações instaladas de forma permanente, ao contrário das primeiras civilizações de carácter nómada. As primeiras indicações da utilização de águas residuais para irrigação e fertilização de terras agrícolas remontam às civilizações da Idade do Bronze. Na Grécia, durante o período clássico, as águas residuais, juntamente com as águas pluviais, eram removidas através de sistemas de esgoto e drenagem e descarregadas em sistemas de irrigação agrícola (Angelakis, et al., 2018).

Apesar do crescente interesse no desenvolvimento de projetos para reutilização de água, a sua implementação e operação em escala real ainda enfrenta vários desafios, independentemente da escala geográfica.

Os riscos inerentes à utilização de águas residuais tratadas estão relacionados com a caracterização química e microbiológica, assim como, potenciais danos para a saúde pública e ambiente (Rebelo, 2018). De modo a enfrentar os riscos para a saúde e para o ambiente causados por contaminantes microbiológicos e químicos potencialmente presentes na água, deve implementar-se os princípios de uma estrutura de gestão de risco. Uma abordagem de gestão de risco engloba a identificação e gestão dos riscos de forma pró-ativa, sendo um sistema prático e dinâmico que pode incorporar o conceito de “fit-for-purpose” ou de “fit-for-all” (Alcalde-Sanz, 2017).

A evolução do conceito de avaliação do risco, tem uma origem maioritariamente económica e financeira. A primeira referência a tal conceito, foi realizada em 1931, por H. W. Heirinch, ao publicar um estudo sobre custos diretos e indiretos associados a acidentes laborais, onde apresentou um método para determinação das causas dos acidentes baseado num efeito de causalidade. Posteriormente, em 1947, R. H. Simonds apresentou um novo método de cálculo para os custos associados a acidentes laborais. Só em 1953, na Conferência Internacional do Trabalho, se registou uma mudança de paradigma, em que a motivação, para o desenvolvimento de avaliações do risco, se tornou a proteção da saúde dos trabalhadores. O novo conceito, apresentado na conferência, definia que deveria existir acompanhamento médico dos trabalhadores, assim como, a aplicação de medidas técnicas para a prevenção, redução e eliminação de riscos laborais (Mendonça, 2013).

Deste modo, a avaliação do risco é um processo dinâmico que permite às organizações a implementação de uma política pró-ativa de gestão dos riscos (Batalha, 2012). Consiste na previsão da ocorrência de danos a nível da saúde e ambiente em geral, de acordo com a realidade específica de cada processo ou situação em estudo. Por forma, a garantir a identificação de todos os riscos e indicação das medidas de prevenção a aplicar (Rebelo, 2018), de acordo com o regime jurídico estabelecido no DL nº 119/2019.

2.1. Importância da reutilização de água

A água é um recurso, essencial ao desenvolvimento de todas as formas de vida. Sensivelmente, 75% do planeta Terra encontra-se coberto de água representado principalmente pelos oceanos e grandes massas de água. Deste volume total de água, 97% é água salgada e somente 3% são água doce, sendo que 69% dessa água doce se encontra sob a forma de glaciares e calotes polares e 31% como águas subterrâneas. Por bilhões de anos, a Terra tem reutilizado a água repetidamente através do processo natural denominado por ciclo hidrológico (UKessays, 2018).

Os recursos hídricos encontram-se sob crescente pressão, registando um desequilíbrio preocupante entre a procura e a sua disponibilidade, tanto em perspetiva temporal como geográfica. É de salientar que, as últimas quatro décadas foram as mais quentes desde 1931, registando-se uma crescente diminuição da precipitação em cerca de 20 mm por década. Tais alterações ambientais culminam na diminuição, por falta de reposição, dos volumes de água armazenados (em albufeiras e águas subterrâneas), representando cada vez mais uma crescente dificuldade em atingir um estado estável dos recursos hídricos (APA, 2019).

Uma das medidas que se podem aplicar no combate à crescente escassez de água potável é a aposta na reutilização de água. Incrementando assim, a circularidade na utilização da água e o consequente aumento da eficiência hídrica. Segundo o nº1 do artigo 2 da diretiva 91/271/CEE do Conselho Europeu, relativa ao tratamento de águas residuais, as águas residuais são águas residuais domésticas ou a mistura de águas domésticas com águas residuais industriais e/ou águas de escoamento pluvial. A reutilização de água constitui uma prática em crescimento em todo o mundo, assumindo-se como uma opção ambientalmente sustentável e competitiva do ponto de vista económico para ajudar a aumentar a disponibilidade de água, enquanto fornece uma medida viável de adaptação às alterações climáticas.

Segundo, NRC (2012), a reutilização de água consiste no uso de águas residuais tratadas para fins não potáveis, evitando o uso de água potável. Resultando no aumento da disponibilidade de água potável, especialmente em épocas de seca. Os projetos de reutilização para fins não potáveis tratam águas residuais para fins específicos, como usos industriais, agricultura ou irrigação. A reutilização, para usos não potáveis, também pode incluir a criação de lagos recreativos ou construção e reabastecimento de zonas húmidas, que sustentam a vida selvagem.

Estima-se que a capacidade atual de tratamento de águas residuais seja de 70% das águas residuais geradas em países com maior desenvolvimento económico e apenas 8% em países com menor desenvolvimento (IWA (2018), Sato et al, 2013). Cerca de 80% de todas as águas residuais são descarregadas em massas de água, podendo estar associadas a situações de perigo para a saúde pública e para o ambiente. A urbanização concentrada agrava, ainda mais, este desafio, com o aumento da produção de águas residuais e consumo dos recursos naturais. Recuperar a água, a energia, os nutrientes e outros recursos incorporados nas águas residuais

é uma oportunidade, fundamental a ser aproveitada, no caminho da sustentabilidade (IWA, 2018).

De entre as principais vantagens da reutilização de águas, podemos destacar a diminuição da pressão sobre os recursos hídricos, a nível de utilização intensiva dos mesmos, assim como, a nível da diminuição de descargas de águas residuais, diminuindo assim, a poluição dos recursos hídricos superficiais. O desenvolvimento da reutilização é também uma oportunidade de mercado para a indústria da água e outras indústrias com um forte potencial de eco inovação em termos de tecnologias e serviços relacionados com a reciclagem de água na indústria, agricultura e sistemas de água domésticos, tendo o potencial de proporcionar novas oportunidades para o mercado mundial em inovação e tecnologia relacionadas com a água (Alcalde-Sanz, 2017).

No âmbito do novo programa de trabalhos do Horizonte 2020 (Programa-Quadro da Comissão Europeia para financiamento à Investigação e Inovação com vigor entre 2014 e 2020), a União Europeia apresentou temas específicos sobre as questões da água que potenciam a utilização de ART como um plano de ação em prol da economia circular. O referido plano de ação consiste no planeamento e gestão integrada da água através de legislação, incentivando a reutilização da água na indústria e estabelecendo requisitos mínimos de qualidade aquando a sua reutilização na irrigação e/ou recarga de aquíferos. De modo a incentivar o desenvolvimento deste projeto, a UE disponibilizou fundos económicos para investimentos, assim como, apoiou ainda a pesquisa e inovação sobre o tema da reutilização de águas.

2.2. Economia circular

Na sociedade atual em que nos encontramos inseridos, regista-se uma crescente alteração de paradigma no que respeita ao modelo económico. A mentalidade de consumismo, desenvolvida e enraizada na nossa sociedade, tem sido baseada no modelo económico linear, “extrair, transformar, consumir e rejeitar” (Catarino, 2018). O modelo de economia linear é, erroneamente, fundamentado na ideia de que os recursos ambientais, à nossa disposição, são infindáveis. Resultando numa utilização desregulada, dos mesmos, em prol da criação de produtos que, uma vez sem mais valor para o consumidor, são descartados sem consideração pela sua transformação em bens com diversas utilidades (Abreu, 2018).

À medida que se tem vindo a registar um considerável aumento de impactos negativos tanto para o ambiente como para a sociedade em geral, este modelo é crescentemente considerado como incompatível com o desenvolvimento sustentável, surgindo assim uma alarmante necessidade de alteração (Baptista, 2018). Tal alteração, é possível alcançar através da introdução do conceito de economia circular que, contrariamente à economia linear, tem como principal pilar de fundação o princípio de reutilização. Deste modo, a economia circular proporciona a possibilidade de transformar os resíduos em recursos, novamente (Abreu, 2018).

O conceito de economia circular, é suportado pelos princípios de “redução, reutilização, recuperação e reciclagem”. Deste modo, torna-se possível maximizar o período em que os produtos possuem valor económico e consequentemente minimizar a geração de resíduos e sobre-exploração dos recursos ambientais. Assim, torna-se possível desvincular o crescimento económico da sobre-exploração de recursos naturais (DGAE, 2020).

2.3. Benefícios e riscos associados à reutilização de água

Como já abordado anteriormente, a água potável é um recurso cada vez mais em risco de escassez, sendo assim primordial, após a sua utilização, recorrer ao correto tratamento e posterior reutilização. Tal reutilização de água pode gerar benefícios a nível económico, fator este que torna todo o processo mais aliciante perante as comunidades, e converge ainda para um uso sustentável (Asano, et al., 2007).

A água reutilizada pode ter uma diversa abrangência de aplicações, de acordo com a sua qualidade e tipo de tratamento a que for sujeita. É de frisar que, as águas residuais tratadas, contêm ainda vários compostos químicos e microrganismos patogénicos, sendo as suas concentrações diretamente variáveis de acordo com o nível de tratamento anteriormente aplicado. Deste modo, a água reutilizada pode ser utilizada para diversas aplicações, mediante as concentrações de compostos químicos e microrganismos patogénicos, nomeadamente, irrigação de espaços verdes, rega agrícola, arrefecimento de maquinaria industrial, recarga de corpos de água, entre outros, para além de contribuir para a proteção dos recursos hídricos endógenos por diminuição da pressão sobre os mesmos (Catarino, 2018).

Assim, de acordo com Catarino (2018), como benefícios ambientais, sociais e económicos, do uso de ApR, estão associados:

- Redução do consumo de água, com qualidade superior, em atividades que se podem realizar com águas de qualidade inferior (permitindo assim uma melhor gestão dos recursos hídricos);
- Possibilidade de redução do recurso a soluções associadas a consumos de energia superiores aos utilizados na utilização de ApR (como a captação de água a grandes profundidades e dessalinização de água salgada);
- As concentrações de nutrientes presentes na ApR podem contribuir, beneficemente, para a rega agrícola, na medida em que diminui a necessidade de utilização de fertilizantes artificiais que prejudicam a qualidade dos solos e corpos de água;
- Em locais com escassa disponibilidade hídrica, a ApR, de acordo com a sua qualidade, pode também ser utilizada na recarga de reservatórios hídricos naturais ou artificiais, como aquíferos ou barragens;

- A utilização de ApR pode contribuir para o aumento da disponibilidade hídrica em zonas de escassez, podendo, deste modo, contribuir para o desenvolvimento económico local, na medida em que, pode permitir o cultivo de culturas de regadio o que proporciona maior oferta laboral para os habitantes da região;
- Quanto maior for a utilização de ApR, menor será a necessidade de construção de infraestruturas de captação hídrica, deste modo a reutilização de água surge como uma alternativa para a diminuição de gastos associados à construção e manutenção de tais infraestruturas

Elencados os benefícios associados à prática de reutilização de água, é de frisar que, apesar de existirem indícios históricos desse tipo de aproveitamento desde a Idade do Bronze, efetivamente, a vulgarização desta prática ainda é recente, existindo ainda alguma falta de conhecimento, tanto por parte dos utilizadores como dos promotores da respetiva prática de reutilização de água. Deste modo, demonstra-se imperativo referir as desvantagens relacionadas a esta prática de reutilização de água, nomeadamente, os possíveis impactos ambientais, custos associados e questões de aceitação pública (Catarino, 2018):

- Os efluentes tratados, podem ainda conter substâncias tóxicas que, após a sua aplicação, podem originar problemas a nível de saúde pública e ambiental;
- Em aplicações que envolvam sistemas de rega, o efluente tratado pode ainda conter partículas sólidas, que posteriormente poderá vir a colmatar os respetivos sistemas de rega;
- Elevada dificuldade de aceitação pública, devido à falta de conhecimento sobre a prática de utilização de efluentes tratados;
- Dimensões das instalações podem gerar problemas/dificuldades a nível de ordenamento do território;
- Distâncias entre a produção de ApR e potenciais utilizadores podem representar elevados custos de instalação de sistemas adutores;
- Possível desfasamento temporal entre os períodos de maiores necessidades de água e os períodos em que as massas de água estão mais fragilizadas por se encontrarem com menores disponibilidades;
- Uma vez que as ETAR existentes foram dimensionadas para descarga em meio hídrico, a utilização dos seus efluentes em diferentes práticas, poderá implicar tratamento adicional, o que representará custos adicionais;
- Investimento inicial elevado.

2.4. Enquadramento Decreto-Lei nº 119/2019

Como mencionando anteriormente, as alterações climáticas têm vindo a aumentar a ocorrência de secas e respetivas consequências negativas para o ambiente em geral, assim como, para a economia. O facto de se verificar uma diminuição significativa de pluviosidade, assim como, uma crescente taxa de evapotranspiração, resulta num aumento da procura de água. Assim, as situações de elevadas necessidades, conjugadas com a fraca, ou mesmo ausência de pluviosidade e elevada evapotranspiração, poderão provocar situações de desequilíbrio e escassez na disponibilidade de água.

Neste contexto, várias organizações internacionais, como a Organização Mundial de Saúde (OMS) e Organização Internacional de Normalização (ISO), têm desenvolvido estratégias com o intuito de promoção da reutilização de água, por forma a diminuir a pressão sobre os recursos hídricos. No que concerne à OMS, esta tem vindo a desenvolver normas, para a proteção da saúde pública, sobre a utilização de água residual tratada. Enquanto a ISO, tem vindo a desenvolver normas para a correta utilização de águas residuais tratadas na rega (agrícola, paisagística e de espaços verdes), usos urbanos, usos industriais e a respetiva avaliação do risco, sobre tal prática, para a saúde humana e o ambiente em geral (DL nº 119/2019).

Deste modo, foi redigido o Guia, no âmbito da Estratégia Comum para a implementação da Diretiva-Quadro da Água, para promover a reutilização de água, e assim, preservar o bom estado dos recursos hídricos, para a utilização de águas residuais (de origem urbana) na rega agrícola, abrangidas pela Diretiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1991, transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, na sua redação atual.

O artigo 57.º do Decreto-Lei nº 226-A/2007, integrando a orientação prevista na Diretiva 91/271/CE, determina que se deve recorrer à utilização das águas residuais tratadas, sempre que possível ou adequado, assumindo uma estratégia de promoção da reutilização de água para alcançar uma diminuição da crescente pressão sobre os recursos hídricos. No entanto, a adoção de tais medidas, requer a definição do seu enquadramento regulatório.

O Decreto-Lei nº 119/2019 determina que a reutilização de água é fundamentada numa abordagem fit-for-purpose, define normas específicas adequadas aos usos pretendidos, assim como, define normas específicas à proteção dos potenciais recetores, recorrendo fundamentalmente a uma avaliação do risco. A respetiva minimização dos riscos é garantida pela aplicação de barreiras múltiplas, tanto na fase de produção como na de transporte e utilização, de acordo com as características individuais dos projetos em questão. São ainda definidos, os requisitos de qualidade e monitorização da água, as medidas de gestão dos riscos, assim como, mecanismos com vista a garantir o acesso público à informação, sobre o tema de reutilização de água, por forma a promover a confiança em todo o processo, por parte dos utilizadores e comunidade em geral.

Deste modo, o presente Decreto-Lei vem estabelecer o regime jurídico, de produção de ApR com origem no tratamento de águas residuais, assim como, de utilização de ApR promovendo a sua correta utilização, protegendo tanto a saúde publica como o ambiente em geral (Decreto-Lei 119/2019)

2.5. Enquadramento do Guia

O Guia para a Reutilização de Água – Usos não potáveis, publicado pela Agência Portuguesa do Ambiente, tem por objetivo a promoção da prática de reutilização de água para usos não potáveis, assim como, servir como uma ferramenta de suporte ao desenvolvimento de projetos sobre o mesmo tema.

Neste sentido, o Guia vem enquadrar o modelo de gestão do risco e os procedimentos de licenciamento para a produção e utilização de ApR para usos não potáveis. Complementando, deste modo, o regime jurídico estabelecido no DL nº 119/2019.

São fornecidas orientações a nível do desenvolvimento da avaliação do risco, das medidas de gestão do risco (a aplicar nos projetos de acordo com a avaliação do risco efetuada), dos programas de monitorização (da ApR e respetivos meios recetores), assim como, da comunicação do risco (sinalização e informação ao público). O Guia, apresenta ainda, exemplos da aplicação de metodologias da avaliação do risco e de tecnologias de tratamento para a produção de ApR.

Contudo, é importante referir que no que concerne ao desenvolvimento de projetos de reutilização, recorrendo às orientações apresentadas no Guia, continua a ser necessária a realização de pesquisas bibliográficas individualizadas às características específicas dos projetos.

3. Metodologia adotada

A metodologia adotada, na presente dissertação, consiste em aplicar o Guia a dois casos de estudo, sendo o primeiro inerente à rega agrícola e o segundo à rega de espaços verdes. Deste modo, os projetos de reutilização de água compreendem duas fases principais, sendo estas a avaliação do potencial de reutilização de água e avaliação do risco associado à implementação dos respetivos projetos.

A primeira fase consiste em avaliar o potencial de reutilização de água, recorrendo a uma análise entre a oferta, potencial de produção de Águas para Reutilização (ApR) por parte das ETAR's em questão, e a procura, ou seja, uma análise dos possíveis usos por parte dos recetores. Requer ainda uma avaliação das condições geográficas entre o local de produção e de utilização, de modo a verificar se estas não constituem obstáculos à viabilidade de execução do projeto, uma análise custo-benefício e verificação das normas de qualidade mínima para rega, previstas no Decreto-Lei nº 236/98 e ISO 16075-2:2015.

A segunda fase, consiste numa avaliação do risco, que se desenvolveu através das seguintes etapas:

- Avaliação do risco sobre a saúde:
 - I. Identificação de perigos sobre a saúde segundo o previsto na norma ISO 20426:2018;
 - II. Identificação de possíveis recetores e vias de exposição (diretas e indiretas);
 - III. Identificação de possíveis cenários de exposição, com base na interligação dos recetores e vias de exposição;
 - IV. Determinação da relação entre dose de agente contaminante com as vias de exposição e probabilidade de ocorrência de doença, recorrendo a um modelo semi-quantitativo suportado por escalas de importâncias, de modo a melhor compreender a severidade dos possíveis danos;
 - V. Identificação de barreiras de prevenção (físicas e químicas), com vista a combater as vias de exposição, e determinação da redução microbiológica associada a cada barreira, segundo a ISO 16075-2:2015;
 - VI. Identificação de possíveis eventos adversos, com capacidade de originar falhas nas barreiras implementadas;
 - VII. Caracterização do risco associado a cada cenário de exposição, perante determinado evento adverso, recorrendo ao modelo semi-quantitativo utilizado anteriormente;
- Avaliação do risco sobre os recursos hídricos (recorrendo ao mesmo processo utilizado na avaliação do risco sobre a saúde);
- Definição da gestão do risco, através da determinação do impacto individual de cada barreira, sobre os riscos, e da definição de planos de manutenção e ação afetos às mesmas.

Mediante os resultados da primeira e segunda fase, assim se determinará a viabilidade dos projetos. Uma vez confirmada a viabilidade, procede-se à obtenção das licenças para produção e utilização de ApR. Tais licenças, definirão as medidas de gestão e procedimento a aplicar de modo a permitir a utilização segura de ApR. O projeto deve assim ser desenvolvido de forma faseada, de modo a que nenhuma fase do mesmo seja ignorada ou descredibilizada. Procura-se assim, a viabilidade e sustentabilidade do projeto a implementar. A Figura 1, abaixo apresentada, representa um esquema síntese da metodologia adotada.

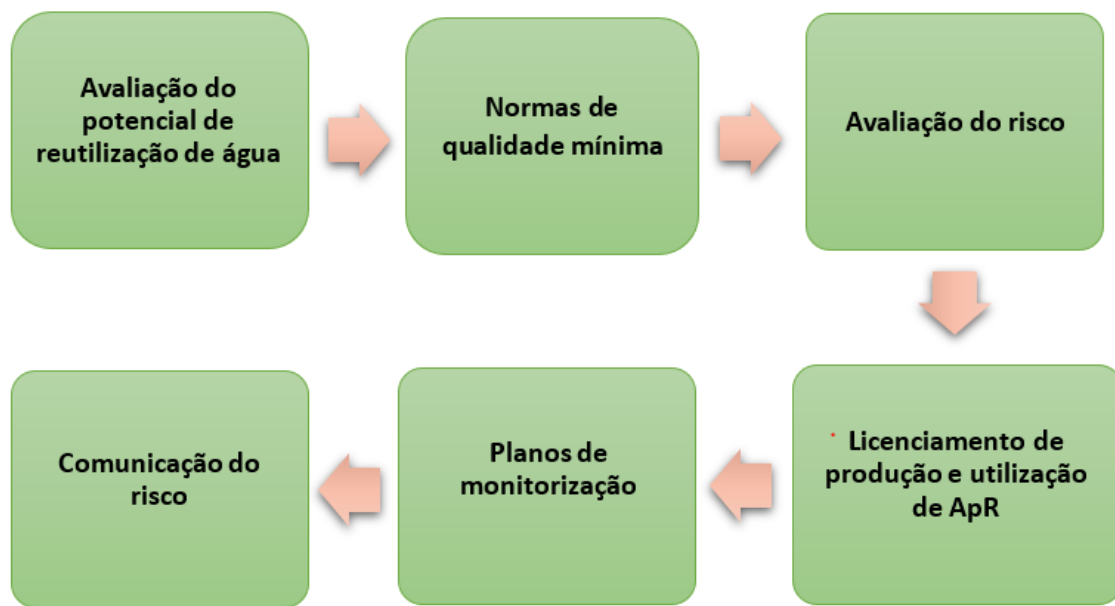


Figura 1. Esquema da metodologia adotada

4. Caso de estudo: Recarga de albufeira

4.1. Enquadramento

Neste projeto, as entidades intervenientes são a LOGOVINHA – Sociedade Agrícola, S.A., Águas do Vale do Tejo, S.A. (AdVT) e Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. (EPAL).

A LOGOVINHA, S.A. é uma sociedade agrícola com atividade empresarial na Agricultura e Produção animal combinadas. A AdVT é responsável pela gestão do sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Vale do Tejo, onde, a gestão do sistema foi delegada na EPAL nos termos previstos no decreto-lei de constituição da sociedade.

A LOGOVINHA, S.A. explora a Herdade da Pimenta, na zona de São Miguel de Machede, que confina com os limites da ETAR de São Miguel de Machede. A Herdade da Pimenta dispõe de uma albufeira, alimentada por dois cursos de água, a partir da qual é extraída a água para a rega de uma vinha, por um sistema de rega gota-a-gota. Em anos de fraca pluviosidade, uma vez que a albufeira perde anualmente cerca de 15% da sua capacidade hídrica por evaporação, a quantidade de água disponível para rega da vinha é insuficiente para as necessidades inerentes à atividade. Deste modo, a LOGOVINHA, S.A. demonstra todo o interesse em solicitar auxílio hídrico à AdVT e EPAL.

A ETAR, dista cerca de 260m da albufeira da herdade, a água residual tratada, produzida na ETAR, cumpre integralmente a licença de descarga e produz diariamente cerca de 200 m³ de efluente tratado. Deste modo, surge a oportunidade de apostar na inovação e sustentabilidade ambiental, através do aproveitamento do efluente tratado para produção de ApR e respetiva utilização na recarga da albufeira.

O sistema de tratamento da ETAR, é constituído por tratamento secundário e, no âmbito do projeto, foi implementado um sistema de desinfecção por injeção de hipoclorito de sódio, por forma a garantir o cumprimento das normas de qualidade mínima da ApR para rega, estabelecidas pelo DL 119/2019. Deste modo, o objetivo deste caso de estudo é avaliar o potencial de reutilização da ApR para recarga da albufeira desenvolvendo uma avaliação do risco, tanto para a saúde como para o ambiente.

4.2. Avaliação do potencial de reutilização de água para implantação do projeto

Como referido anteriormente, o desenvolvimento de um projeto de reutilização de água deve respeitar uma estrutura que compreende duas fases principais, sendo estas, a avaliação do potencial de reutilização e a avaliação do risco.

No que concerne à avaliação do potencial de reutilização, a ETAR de São Miguel de Machede tem capacidade para produzir em média 200 m³ de ApR por dia, variando consoante as épocas de maior e menor pluviosidade. O efluente tratado, serve então para a produção de ApR, que respeita as normas de qualidade de água para rega previstas no DL 119/2019, de 21 de agosto, destinando-se apenas para fins não potáveis, isto é, usos onde não existe consumo, direto ou indireto, da água pelo ser humano.

No caso em análise, a ApR é transportada desde a ETAR de São Miguel de Machede até uma albufeira, da qual a LOGOVINHA, S.A. é proprietária, a partir da qual é extraída a água para assegurar a rega da vinha com uma área de 65 ha.

A albufeira possui uma capacidade de sensivelmente 100 000 m³. Para realizar a rega da vinha, são consumidos, semanalmente, 6100m³ de água, resultando numa necessidade anual 97.500m³. A ETAR, sendo produtora de em média 200 m³/dia de ApR, sendo na época de verão cerca de 80m³/dia, não apresenta capacidade para suprir a necessidade total anual para rega da vinha.

No entanto, são perdidos, através da evaporação, na albufeira cerca de 15 000 m³/ano, volume esse que o efluente da ETAR tem o potencial para repor. Tendo em consideração que os períodos de rega e de maior evaporação potencial ocorrem no mesmo período, é expectável que os períodos de recarga possam ocorrer desde Maio até Setembro, e em anos excecionais repor a falta de precipitação, desde Janeiro até Setembro.

Entre o ponto de produção da ApR e o ponto de entrega da mesma, distam aproximadamente 260m, onde não se verificam desníveis significativos nem barreiras físicas, no terreno, que representem obstáculo para a implementação do projeto.

No que respeita à vertente económica, refira-se que os custos de operação do sistema associado ao projeto implicam o pagamento de uma tarifa que visa cobrir o total de todos os custos envolvidos. Destacam-se como principais custos a energia, o doseamento de reagentes e o controlo analítico associado a todo o sistema. O pagamento desta tarifa revela-se sustentável, do ponto de vista económico da LOGOWINES, S.A., na medida em que evita a perda de produção vinícola que ocorreria caso não se recorresse à utilização da ApR para recarga da albufeira.

4.3. Normas de qualidade mínima

4.3.1. Metodologia proposta no Guia

A definição das normas de qualidade a aplicar a esta água residual tratada de modo a que satisfaça os requisitos da utilização pretendida e que não coloque em causa a saúde pública e o ambiente, foi realizada com base numa abordagem “*fit-for-purpose*”, isto é, adequada ao uso específico a que se destina a água.

Para implementar o projeto de reutilização de água da ETAR, para rega da vinha da LOGOWINES S.A, esta deve respeitar as normas de qualidade de água para rega previstas no DL 119/2019, de 21 de agosto.

A reutilização de águas para rega deve ainda observar as normas de qualidade para proteção das culturas agrícolas, florestais e solos de acordo com os termos da Norma ISO 16075-2:2015, abaixo expressas nas tabelas 1, 2 e 3, adaptadas do Guia. Os valores, apresentados nas mencionadas tabelas, representam o que se deve garantir na ApR, por forma a obter o menor nível de risco possível, para as culturas, ambiente e saúde. Sendo a reutilização de água uma atividade com riscos associados, demonstra-se necessária a definição das normas de qualidade, promovendo assim a confiança na atividade.

Tabela 1: Normas de qualidade de água para reutilização para rega (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Classe de qualidade ^a	CBO ₅ (mg O ₂ /L)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	<i>E. coli</i> (ufc/100 mL)	<i>Legionella</i> <i>spp.</i> (ufc/L)	Ovos de parasitas intestinais (N/L) ^b	Azoto amoniacoal (mg NH ₄ ⁺ /mL) ^c	Azoto total (mg N/mL) ^c	Fósforo total (mg P/mL) ^c
A	≤10	≤10	≤5	≤10					
B	≤25	≤35		≤100					
C	≤25	≤35		≤1000	≤1000 ^b	≤1	10	15	5
D	≤25	≤35		≤10000		≤1			
E ^d	≤40	≤60		≤10000					

^a Tratamento secundário convencional

Aplicável sempre que haja risco de formação de aerossóis (e.g., em estufas com rega por microaspersão)

^b Aplicável na rega de culturas agrícolas destinadas ao consumo animal

^c Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega

^d Só aplicável a sistemas descentralizados ou descentralizados em simbiose

As normas de qualidade de ApR para rega referentes à proteção das culturas agrícolas, florestais e solos, de acordo com a Norma ISO 16075-2:2015, são, respetivamente:

Tabela 2: Normas de qualidade de ApR para rega referentes à proteção das culturas agrícolas, florestais e solos (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Parâmetro	Norma de qualidade mínima
Alumínio (mg Al/L)	5,0
Berílio (mg Be/L)	0,1
Cobalto (mg Co/L)	0,05
Fluoretos (mg F-/L)	2,0
Ferro (mg Fe/L)	2,0
Lítio (mg Li/L)	2,5
Manganês (mg Mn/L)	0,2
Molibdénio (mg Mo/L)	0,01
Selénio (mg Se/L)	0,02
Vanádio (mg V/L)	0,1
SAR	
Salinidade	Variável em função da cultura
Boro	

Na Tabela 3, estão descritos os possíveis usos, nível de tratamento e tipo de tratamento para as diferentes classes de qualidade da água.

Tabela 3: Usos e tipos de tratamento adequados em função das várias classes de qualidade da água (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Classe	Possíveis usos	Nível de tratamento	Tipo de tratamento
A	Rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru em que a parte consumível está em direto contacto com a água; rega de jardins públicos sem restrição de acesso; rega de jardins privados	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a , filtração ^b (e.g., filtração por membranas) e desinfeção ^c (sistemas avançados de tratamento)
B	Rega com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos; rega de jardins com restrição de acesso, incluindo áreas de lazer e desportivas (e.g., campos de golfe)	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a , filtração ^b e desinfeção ^c
C	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a e Desinfeção ^c
D	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a e Desinfeção ^c
E^d	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso restrito (e.g., sebes, áreas de contenção (prados em socacos))	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Sistemas de lagunagem (incluindo lagoa de maturação) ou outros sistemas de tratamento que garantam nível de tratamento equivalente ou superior

^a Tratamento secundário convencional

^b Filtração refere-se à microfiltração, ultrafiltração, filtração por cartuchos, filtração por areia de alto rendimento, processos por membranas (incluindo reatores membranares), uso de meio filtrante duplo, uso de filtros têxteis e de disco (com ou sem adição de produtos químicos)

^c Desinfeção inclui a radiação UV, ozonização, processos por membranas, cloragem (apenas admissível para manutenção de teor residual de desinfetante) ou outros processos de oxidação avançada. No caso da cloragem, a dosagem de cloro deve preferencialmente ser definida com base na carência de cloro, para minimizar a formação de subprodutos

^d Só admissível para água residual tratada proveniente de sistemas não abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho

4.3.2. Aplicação ao caso de estudo

Relativamente à qualidade da ApR, produzida na ETAR de S. Miguel de Machede, foram realizadas amostragens, durante os 12 meses do ano 2018, as quais foram submetidas para análises laboratoriais. As amostragens realizadas, têm por objetivo realizar um controlo de qualidade rigoroso, por formar a determinar, de acordo com as tabelas 1 e 2, qual a categoria de qualidade da ApR produzida. Deste modo, é possível determinar se a ApR, produzida na ETAR, respeita as normas de qualidade mínima para a rega da vinha. Assegurando que a qualidade da ApR não prejudicará o bom desenvolvimento da vinha, garantindo os padrões de qualidade da cultura e a segurança a nível da saúde e meio ambiente.

Os valores apresentados na Tabela 4 representam os resultados obtidos, nas análises laboratoriais, correspondentes aos parâmetros da Tabela 1, acima exposta.

Tabela 4: Valores das análises da água da ETAR de S. Miguel de Machede referentes às Normas de qualidade de água para reutilização para rega.

Parâmetro	Valor
Alumínio (mg Al/L)	0,24
Berílio (mg Be/L)	$\leq 0,0005$
Cobalto (mg Co/L)	$\leq 0,01$
Fluoretos (mg F-/L)	$\leq 0,4$
Ferro (mg Fe/L)	0,45
Lítio (mg Li/L)	$\leq 0,015$
Manganês (mg Mn/L)	$\leq 0,05$
Molibdénio (mg Mo/L)	$\leq 0,005$
Selénio (mg Se/L)	$\leq 0,015$
Vanádio (mg V/L)	$\leq 0,02$
SAR sw	5,4
Salinidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1300
Boro (mg B/L)	0,56

Os valores representados na Tabela 5 representam os resultados obtidos, nas análises laboratoriais, correspondentes aos parâmetros apresentados na Tabela 2.

Tabela 5: Valores dos respectivos parâmetros das normas de qualidade de ApR para regas referentes à proteção das culturas agrícolas, florestais e solos, presentes na ApR da ETAR de S. Miguel de Machede.

pH	Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100ml)	Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO ₅) (mg/L)	Ovos de parasitas intestinais (/1000 mL)	Azoto Total (N total) (mg/L)	Fósforo Total (P total) (mg/L)
7,6	≤34	≤160000	≤3	Ausente	≤30	≤9,8

4.3.3. Resultados

Com base na Tabela 1, é possível constatar que, nas análises da ApR produzida na ETAR de S. Miguel de Machede, os valores obtidos se encontram dentro das normas de qualidade de águas para reutilização para rega relativas à classe C, sendo exceção o Azoto Total e Fósforo Total. No entanto, as normas de qualidade referentes ao Azoto Total como ao Fósforo Total são parâmetros facultativos de aplicação em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega, não sendo por isso um fator eliminatório ou fundamental para aprovação do projeto. Sendo de evidenciar que, tais nutrientes podem provar-se benéficos a nível de fertilização da cultura e consequente redução de custos com produtos fertilizantes.

Relativamente às normas de qualidade de ApR para regas referentes à proteção das culturas agrícolas, florestais e solos (Tabela 2) pode-se verificar que os valores obtidos, nas análises à água da ETAR de S. Miguel de Machede (Tabela 5), se encontram abaixo dos valores estipulados nas respetivas normas de qualidade mínima.

É de evidenciar que relativamente à salinidade, a sua concentração na zona das raízes da planta, a partir da qual se inicia o declínio da mesma, é de 3600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Biswas, 2008). Sendo a concentração de salinidade, na ApR da ETAR de S. Miguel de Machede, de 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, constatando-se que se encontra dentro do limite de qualidade. No que concerne à SAR, a microestrutura de um solo encontra-se relativamente estável perante valores de SAR entre zero e nove (Biswas, 2008). Sendo que, a concentração de SAR, presente na ApR encontra-se dentro do respetivo intervalo, não representa um perigo para a qualidade do solo ou vinha.

Relativamente às concentrações de Boro, os sintomas de toxicidade de Boro em vinhas, só ocorrem perante concentrações superiores a 37,83 mg/L (Yermiyahu, 2007). A concentração de Boro presente na ApR é significativamente inferior ao limite de qualidade, não representando perigo para a vinha.

Uma vez que, a ApR da ETAR de São Miguel de Machede pertence à classe de qualidade C, de acordo com a Tabela 3, pode ser utilizada para os seguintes fins:

- rega com restrição de acesso (usos agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água;
- rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos.

Estas possíveis utilizações só podem ocorrer caso exista um sistema de tratamento com tratamento secundário e desinfecção, que é o caso da ETAR de São Miguel de Machede.

Após analisar todos estes aspetos, é possível verificar que, tanto a nível das normas de qualidade, tipos e níveis de tratamento, oferta e procura, como em termos de custos associados, existe potencial de reutilização da ApR da ETAR de S. Miguel de Machede para rega da vinha da LOGOWINES, S.A..

4.4. Avaliação do risco

Segundo o Guia, o objetivo da avaliação do risco consiste em identificar e diminuir o risco da ocorrência de possíveis eventos adversos, em termos de saúde e ambiente, onde se irá implementar o projeto de reutilização de água.

Por perigo, entende-se uma propriedade intrínseca de uma substância perigosa ou de uma situação física passível de provocar danos à saúde humana e/ou ambiente (Diretiva 96/82/CE).

O risco é a medida da probabilidade e intensidade de um determinado efeito adverso, sobre a vida humana, saúde, bens e ambiente, podendo ser descrito pelas seguintes relações:

- $\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Consequência}$
- $\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Potencial de Danos}$
- $\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Danos}$

Os riscos associados à utilização de águas residuais tratadas prendem-se, essencialmente, com a caracterização química e microbiológica, e os potenciais danos para a saúde pública e ambiente, onde, para além dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) se incluem os solos (Rebelo, 2018).

De acordo com o Guia da APA, este processo de avaliação do risco é efetuado com base nas normas de qualidade previamente estabelecidas e divide-se em dois âmbitos:

- Risco sobre a saúde, por ingestão, inalação ou adsorção dérmica de ApR;
- Risco ambiental, por escorrência, infiltração, percolação ou lixiviação de ApR para os recursos hídricos superficiais ou subterrâneos.

4.4.1. Avaliação do risco sobre a saúde

Segundo o Guia, a avaliação do risco sobre a saúde, subdivide-se em quatro etapas principais, todas elas interligadas.

Estas etapas são, respetivamente:

- I. **Identificação de perigos**, isto é, identificação de todos os elementos ou parâmetros com potencial para originarem efeitos adversos nos possíveis recetores;
- II. **Identificação de vias de exposição e recetores**, ou seja, identificação dos recetores que podem ser afetados mediante as vias de exposição, conhecidas como, ingestão, inalação e adsorção dérmica;
- III. **Identificação de cenários de exposição e relação entre dose de contaminante e respetiva probabilidade de ocorrência de doença**;
- IV. **Caracterização do risco**, ou seja, determinar o risco que está associado a cada recetor.

4.4.1.1. Identificação de perigos sobre a saúde

Nesta primeira etapa da avaliação do risco, procede-se à determinação dos agentes com potencial de causar dano na saúde humana, em geral.

Os perigos associados à reutilização de água, por norma, distinguem-se essencialmente como químicos e microbiológicos, com potencial para provocar danos na saúde pública (Shakir et al., 2017).

A nível microbiológico, os perigos associados às águas residuais e potenciais danos, segundo a Norma ISO 20426:2018 definida no DL 119/2019, encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Microrganismos patogénicos vulgarmente detetados em águas residuais brutas (adaptado de ISO 20426:2018).

Organismos	Microrganismos patogénicos	Doenças provocadas
Bactérias	<i>Campylobacter</i>	Gastroenterite, artrite reativa e síndrome de Guillain-Barré
	<i>Escherichia coli patogénica</i>	Gastroenterite e septicémia, Síndrome hemolítico-urémico
	<i>Salmonella</i>	Salmonelose, gastroenterite (diarreia, vômitos, febre), artrite reativa, febre tifoide
	<i>Shigella</i>	Shigelose (disenteria bacilar)
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Vírus	<i>Enterovírus</i>	Gastroenterite, anomalias coronárias, meningite, doenças respiratórias, desordens nervosas, outras
	<i>Adenovírus</i>	Doenças respiratórias, infeções oculares, gastroenterite
	<i>Rotavírus</i>	Gastroenterite
	<i>Entamoeba</i>	Amebíase (disenteria amebiana)
Protozoários	<i>Giardia</i>	Giardiase (gastroenterite)
	<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidíase, diarreia, febre
	<i>Ascaris</i>	Ascariíase (infecção por vermes redondos ou lombrigas)
Helminthas	<i>Ancylostoma</i>	Ancilostomíase (infecção por ancilóstomos)
	<i>Necator</i>	Necatoríase (infecção por vermes redondos ou lombrigas)
	<i>Trichuris</i>	Tricuríase (infecção por nemátodos)

Como previsto no Guia, no processo de avaliação do risco sobre a saúde, foram utilizados como padrões de perigo os microrganismos regularmente selecionados como indicadores de contaminação microbiológica.

Este método é o mais comum para avaliar a probabilidade da presença de microrganismos patogénicos na água utilizando indicadores microbiológicos como, por exemplo, Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*) (Brondani, 2015).

No presente caso de estudo foi utilizado, como indicador de contaminação microbiológica, a *Escherichia coli*., uma vez que esta é conhecida por refletir melhor o comportamento das bactérias entéricas patogénicas. Sendo que, a *E. coli*, é também considerada como um bom indicador para a ausência ou presença de *Campylobacter* nas águas, é assim considerado que, por analogia, será também um bom indicador para as ApR.

4.4.1.2. Identificação de recetores e vias de exposição

Como possíveis recetores, para além do ser humano, foram identificados: animais domésticos, animais de pecuária, animais selvagens, vegetação paisagística e agrícola.

Como referido anteriormente, segundo o Guia, as vias de exposição a considerar são a ingestão, inalação e adsorção. Foram avaliadas as vias diretas (contacto direto com microrganismos eventualmente presentes na ApR) e indiretas (contacto indireto com microrganismos eventualmente presentes na ApR), sendo que os vários recetores, para além do ser humano, podem constituir um vetor para o mesmo.

Após a identificação dos possíveis recetores e respetivas vias de exposição, estes foram interligados e cruzados entre si, procedendo à identificação dos possíveis casos de ocorrência de exposição, (Tabela 7).

Tabela 7: Identificação de vias de exposição diretas por recetor para a rega da vinha da LOGOWINES S.A..

Vias de exposição	Recetores						
	Trabalhador da vinha	Envolvência (vizinhos)	Animais domésticos	Animais de pecuária	Animais selvagens	Vegetação paisagística	Vegetação agrícola
Ingestão	X	X	X	X	X		
Inalação							
Adsorção	X	X	X	X	X	X	X

A ingestão é considerada, devido à possibilidade de ocorrer ingestão da ApR, tanto por ignorância como por negligência, no caso do ser humano. A ingestão, no caso dos animais domésticos, selvagens e de pecuária, representa uma via de exposição com elevada

probabilidade de ocorrência, visto que o ponto de entrega é uma albufeira com relativa facilidade de acesso para estes recetores.

Dado que durante todo o processo de tratamento, distribuição, armazenamento e rega da vinha (rega-gota-a-gota), a ApR não origina micropartículas passíveis de serem inaladas pelos recetores, daí resulta que a inalação não constitui uma via de exposição para os recetores, conforme se constata na Tabela 7.

A adsorção representa uma via de exposição através do contacto direto ou indireto, por parte dos recetores, com a ApR. O contacto com a ApR pode ocorrer tanto no ponto de aplicação (respetiva vinha) como no ponto de entrega.

Após o cruzamento das vias de exposição com os vários recetores, foi avaliado as vias de exposição na eventualidade de outros recetores atuarem como vetores para com o ser humano, identificando-se, deste modo, as vias de exposição diretas e indiretas, (Tabela 8).

Tabela 8: Identificação de vias de exposição diretas e indiretas para os seres humanos através de outros recetores.

Outros recetores	Trabalhadores da vinha e Envolvência (vizinhos)
Animais domésticos	Ingestão direta, adsorção indireta
Animais de pecuária	Ingestão indireta, adsorção indireta
Animais selvagens	Ingestão indireta, adsorção indireta
Vegetação paisagística	Adsorção Indireta
Vegetação agrícola	Ingestão indireta, adsorção indireta

4.4.1.3. Identificação de cenários de exposição

Após a identificação dos recetores e vias de exposição, procedeu-se à avaliação dos possíveis cenários em que as várias situações de exposição podem ocorrer (Tabela 9), nomeadamente, adsorção direta de ApR presente no solo das culturas irrigadas, ingestão de carne ou leite de gado exposto à ApR ou contacto com animais domésticos expostos à referida ApR.

Na avaliação dos possíveis cenários de exposição foram considerados os recetores presentes na área de aplicação de ApR, assim como, na respetiva envolvência.

Tabela 9: Identificação de cenários de exposição afetos aos trabalhadores da vinha e envolvimento (vizinhos).

Recetor	Cenários de exposição	Tipo de via de exposição
Trabalhadores da vinha e envolvimento (vizinhos)	Ingestão de ApR	Direto
	Ingestão de solo	Direto
	Contacto com a ApR	Direto
	Ingestão de animais de pecuária expostos á água	Indireto
	Ingestão de animais selvagens expostos á água	Indireto
	Ingestão da cultura	Indireto
	Contacto com plantas, solo ou animais contaminados	Indireto

É de evidenciar que a ingestão de solo, que constitui um cenário de exposição afeto aos trabalhadores e envolvimento, representa a ingestão resíduos de solo presentes no fruto e não a ingestão direta do solo. Isto é, foi considerada a eventualidade de, antes do consumo, o fruto ter estado em contacto com o solo que, anteriormente, esteve em contacto direto com a ApR.

4.4.1.4. Relação entre dose de agente contaminante com via de exposição e probabilidade de ocorrência de doença

4.4.1.4.1. Metodologia proposta no Guia

De acordo com o Guia, uma vez identificados os possíveis cenários de exposição, procede-se à avaliação da relação entre a dose de agente contaminante e a probabilidade de ocorrência de doença. O estudo desta relação permite, um melhor entendimento relativamente à severidade dos possíveis danos, assim como, realizar uma estimativa da mesma.

Relacionar a dose de agente contaminante com a respetiva via de exposição e probabilidade de ocorrência de doença, consiste num processo extremamente complexo que requer uma considerável quantidade de dados. Perante a ausência de dados que permitem o recurso a uma análise quantitativa, é proposto pelo Guia a aplicação de um modelo semi-quantitativo, suportado em escalas de importâncias propostas por Saaty, representadas na Tabela 10.

Como previsto no Guia, os dados de entrada são as respectivas normas de qualidade mínima, anteriormente descritas no capítulo 4.1, que representam indiretamente o limite de tolerância para o Homem, associado às respectivas vias de exposição.

Tabela 10: Escala de importâncias.

Nível de importância	Fator de importância (f_i)
Importância baixa	1
Importância Fraca	3
Importância Essencial ou forte	5
Importância Demonstrada	7
Importância Absoluta	9
Importâncias Intermédias entre dois níveis de decisão	2, 4, 6, 8

Segundo o proposto no Guia, na aplicação do modelo semi-quantitativo, a probabilidade de ocorrência de doença é definida empiricamente com base nos dados da literatura existentes para a ocorrência de doença de acordo com o tipo de exposição. Assim, recorreu-se aos fatores de importância propostos no Guia, conforme descrito abaixo na Tabela 11, para melhor compreender a severidade dos danos.

Tabela 11: Fatores de importância associados à probabilidade de ocorrência de doença (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Fator de importância (f_i)	Probabilidade de ocorrência de doença
9	Ocorrência de doença comprovada
7	Potencial ocorrência de doença
5	Eventual ocorrência de doença
3	Ausência de dados sobre a probabilidade de ocorrência
1	Ausência de ocorrência de doença demonstrada

4.4.1.4.2. Aplicação ao caso de estudo

Assim, com base nos dados da literatura existentes, relativamente à ocorrência de doença relacionada com o tipo de exposição, associaram-se fatores de importância à probabilidade de ocorrência de doença de acordo com as diferentes vias de exposição, agente contaminante e respetiva dose, abaixo representado na Tabela 12.

Tabela 12: Relação entre dose de agente contaminante, via de exposição e probabilidade de ocorrência de doença (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Agente contaminante	Unidades	Dose	Via de exposição	Probabilidade de ocorrência de doença (fi)
<i>Escherichia coli</i>	ufc/100mL	≥ 1000	Ingestão	9
			Adsorção	9
Ovos de parasitas intestinais	N/L	≥ 1	Ingestão	9
			Adsorção	9
CBO5	mg/L O2	≥25	Ingestão	1
			Adsorção	1
SST	mg/L	≥35	Ingestão	4
			Adsorção	1
Alumínio	mg Al/L	≥ 5,0	Ingestão	3
			Adsorção	3
Berílio	mg Be/L	≥ 0,1	Ingestão	3
			Adsorção	3
Cobalto	mg Co/L	≥ 0,05	Ingestão	9
			Adsorção	1
Fluoretos	mg F-/L	≥2,0	Ingestão	8
			Adsorção	1
Ferro	mg Fe/L	≥ 2,0	Ingestão	1
			Adsorção	1
Lítio	mg Li/L	≥2,5	Ingestão	9
			Adsorção	1
Manganês	mg Mn/L	≥0,2	Ingestão	3
			Adsorção	2
Molibdênio	mg Mo/L	≥ 0,01	Ingestão	4
			Adsorção	2
Selênio	mg Se/L	≥0,02	Ingestão	8
			Adsorção	2
Vanádio	mg V/L	≥ 0,1	Ingestão	1
			Adsorção	1
SAR	meq/L	≥ 8	Ingestão	2
			Adsorção	1
Salinidade	mg/L	≥ 640	Ingestão	2
			Adsorção	1
Boro	mg/L	≥ 3,75	Ingestão	7
			Adsorção	1

4.4.1.5. Barreiras/medidas de prevenção

Segundo o Guia, uma vez identificados os vários cenários de exposição, afetos aos respetivos recetores, procede-se à identificação das possíveis medidas de prevenção ou barreiras. Estas barreiras podem ser físicas, mecanismos que reduzem o contacto entre a ApR e respetivos recetores, ou químicas, produtos que mantêm as características da ApR dentro dos valores estabelecidos pelas normas de qualidade mínima.

Deste modo as barreiras são implementadas com vista a minimizar as vias de exposição diretas e indiretas, anteriormente identificadas. Tais medidas preventivas podem ser aplicadas, de um modo geral, a montante do sistema de tratamento, no sistema de tratamento ou a jusante do mesmo.

Dependendo do tipo de barreira e respetiva aplicação, esta tem uma determinada redução microbiológica associada que equivale a um determinado número de barreiras equivalentes (ISO 16075-2:2015).

4.4.1.5.1. Barreiras aplicadas no caso de estudo

De acordo com o proposto no Guia, na Tabela 13 abaixo representada, estão identificados, para o presente caso de estudo, os tipos de barreiras, respetiva aplicação, redução microbiológica e número de barreiras equivalentes.

Tabela 13: Tipo de barreiras e correspondência com o número de barreiras equivalentes.

Tipo de barreira	Aplicação	Redução microbiológica (unidades Log₁₀)	N.º de barreiras equivalentes
Rega gota-a-gota	Culturas de crescimento elevado (≥50 cm do solo)	4	2
Tratamento secundário	Sistema de tratamento	1 a 3	1
Desinfecção por cloragem	Sistema de tratamento	2 a >6	1 a 3
Controlo de acesso a áreas regadas	Proibição de pastagem de gado leiteiro em culturas húmidas	0,5 a 1	1
	Espaço interdito á passagem pública	0,5 a 1	1
	Horários de rega fora das horas de uso dos espaços	0,5 a 1	1
Decaimento natural de microrganismos	Suspensão de rega num período adequado antes da colheita	0,5 a 2 por dia	1 a 2
Sinalização	Sinalização informativa de água para uso não potável	0	1
Sistema de deteção de fugas +Capacidade de retenção total	Retenção total do efluente da ETAR em caso de falha do sistema de tratamento	—	2

4.4.1.6. Eventos adversos

4.4.1.6.1. Metodologia proposta no Guia

De acordo com o Guia, a identificação de eventos adversos consiste na determinação de possíveis eventos com potencial para originar falhas nas barreiras e/ou potencializar determinado cenário de exposição.

Após a identificação dos possíveis eventos adversos, relacionaram-se os mesmos, através de uma escala empírica (Tabela 14), com a respetiva probabilidade de ocorrência, conforme descrito na Tabela 15. Na Tabela 14, abaixo apresentada, encontram-se os vários descritores de probabilidade e respetiva descrição.

Tabela 14: Medidas de probabilidade de ocorrência de eventos adversos (Adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Descritor de probabilidade	Descrição
Raro	Nunca ocorreu no passado e é altamente improvável que ocorra num período razoável ¹
Pouco provável	Nunca ocorreu no passado, mas pode ocorrer em circunstâncias excecionais num período razoável
Possível	Pode ter ocorrido no passado e/ou pode ocorrer em circunstâncias normais num período razoável
Provável	Há registos de ocorrência no passado e é provável que ocorra num período razoável
Quase certo	Há registos de ocorrência frequente no passado e/ou é quase certo que ocorra na maioria das circunstâncias num período razoável

¹ Período razoável que tem de ser definido de acordo com a importância do perigo e o prazo máximo para revisão dos títulos para produção e utilização de água para reutilização

4.4.1.6.2. Aplicação ao caso de estudo

De acordo com a metodologia proposta pelo Guia, no presente caso de estudo, os possíveis eventos adversos a considerar e respetivas probabilidades de ocorrência encontram-se, abaixo apresentados, na Tabela 15.

Tabela 15: Possíveis eventos adversos e respetivas probabilidades

Eventos adversos	Descritor de probabilidade
Falhas no sistema de tratamento originando incumprimento das normas de qualidade mínima	Possível
Contaminação externa ao sistema de tratamento (sistema de distribuição ou local de armazenamento)	Pouco provável
Ingestão inadvertida ou propositada da ApR	Possível
Ruturas ou fugas nas tubagens de distribuição conduzindo a uma possível exposição accidental á ApR	Pouco provável
Engano no horário de rega estabelecido, conduzindo a uma possível exposição accidental á ApR	Pouco provável
Falha do sistema de retenção total	Raro

4.4.1.7. Caraterização do risco

Como previsto no Guia, após a identificação das barreiras a aplicar sobre os cenários de exposição, dos eventos adversos e respetivas probabilidades de ocorrência, procede-se à caraterização do risco associado a cada cenário, perante determinado evento adverso.

Na etapa de caracterização do risco recorreu-se, tal como no relacionamento da dose contaminante com a probabilidade de ocorrência de doença, a um modelo semi-quantitativo suportado em escalas de importâncias.

Para determinar o risco associado a cada recetor, é necessário realizar o produto entre o perigo, vulnerabilidade do recetor e respetivos danos (Rebello, 2018).

Neste caso, considerou-se como perigo a presença de microrganismos patogénicos *E. coli* na ApR, da ETAR de São Miguel de Machede. A presença de *E. coli* está definida em cinco graus de perigo de acordo com o sistema de tratamento utilizado (Rebello, 2018), conforme descrito na Tabela 16.

Tabela 16: Níveis de perigo, por tipo de tratamento, associados à *E. coli* (adaptado de Rebello, 2018).

Tipo de tratamento	Nível de perigo	Presença de <i>E. coli</i>	Fator de importância (fi)
SEC	V	$E. coli \geq 10^4$	9
SEC+desinfecção	IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7
Avançado	III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5
SEC+desinfecção+póscloragem	II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3
Avançado+pós-cloragem	I	$E. coli \leq 10^1$	1

A ETAR de S. Miguel de Machede consiste num sistema de tratamento que inclui, tratamento secundário e desinfecção por cloragem, como tal, o perigo associado é de nível IV, obtendo assim um fator de importância 7.

Após determinado o perigo, procede-se à determinação da vulnerabilidade de cada recetor (Vrecetor) que é obtida a partir da seguinte expressão (1), normalizada à situação mais crítica (Rebello, 2018):

$$V_{recetor} = \frac{\sum(f_{i_{via\ exp}} \times f_{i_{cen\ exp}})}{f_{normalização}} \quad (1)$$

e

$$f_{normalização} = f_{i_{max}} \times \sum(f_{i_{via\ exp}} \times n^{\circ} cen\ exp) \quad (2)$$

Onde:

- $f_{i_{via\ exp}}$ – Fator de importância de cada via de exposição considerada;
- $f_{i_{cen\ exp}}$ – Fator de importância de cada cenário de exposição considerado;
- $f_{normalização}$ – Fator de normalização;
- $f_{i_{max}}$ – Valor máximo da escala de fatores de importância ($f_{i_{max}} = 9$).

Após consultar a literatura disponível, foi possível determinar a existência de vias de exposição com maior risco, nomeadamente, a ingestão face à adsorção e inalação. Assim torna-se possível a atribuição de fatores de importância em conformidade com essa constatação, conforme descrito, abaixo na Tabela 17.

Tabela 17: Fatores de importância associados às vias de exposição afetas aos recetores: trabalhador da vinha e envolvimento.

Via de exposição	Fator de importância (fi)	Observações
Ingestão	9	Via de infeção demonstrada com importância absoluta
Adsorção	5	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)
Inalação	1	Via de exposição não aplicável às características do projeto

Do mesmo modo como se atribui fatores de importância às vias de exposição, atribui-se também fatores de importância a cada cenário de exposição anteriormente determinado, conforme descrito na Tabela 18, abaixo apresentada.

É de evidenciar que, a vulnerabilidade da envoltória, embora ligeiramente inferior, é extremamente idêntica à dos trabalhadores da vinha. Neste sentido, considerou-se os trabalhadores da vinha e respetiva envoltória como um só recetor. Tal abordagem, foi adotada no sentido de realizar uma cenarização para o pior caso, garantindo assim, um maior nível de segurança na avaliação do risco.

Tabela 18: Vulnerabilidades associadas aos cenários de exposição afetos aos recetores: trabalhadores da vinha e envoltória.

Recetor	Cenário de exposição	Fator de importância (fi)	Observações
Trabalhadores da vinha e envoltória	Ingestão da ApR	9	Via de infeção demonstrada
	Ingestão de animais de pecuária expostos à ApR	3	Ausência de dados sobre a via de infeção
	Ingestão de animais selvagens expostos à água	3	Ausência de dados sobre a via de infeção
	Ingestão da cultura	3	Ausência de dados sobre a via de infeção
	Ingestão de solo	5	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)
	Contacto com a ApR (Adsorção dérmica)	5	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)
	Contacto com plantas, solo ou animais contaminados (Adsorção dérmica)	5	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)
Vulnerabilidade por recetor		0,519	

Segundo o Guia, após a determinação da vulnerabilidade é necessário determinar o dano associado.

Esta determinação é realizada com base na probabilidade de falha das barreiras de segurança e severidade do dano associado, como descrito na Figura 2, onde são consideradas as barreiras e o respetivo número de barreiras equivalentes.

O valor do dano parcial (d_i), dentro de cada célula, é obtido pela seguinte expressão (3):

$$d_i = \frac{\text{Severidade dos danos} \times \text{Probabilidade de falha}}{5} \quad (3)$$

			Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
			Probabilidade de falha na barreira				
			1	2	3	4	5
Insignificante	Severidade dos danos	1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Fraco		2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
Moderado		3	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0
Forte		4	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
Severo		5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0

Figura 2. Matriz de determinação do dano (adaptado de Rebelo, 2018)

Após obter os resultados da matriz, acima representada, deve-se recorrer à priorização dos resultados, com base na escala de importâncias, como representado na Tabela 19. Fornecendo assim, um fator de segurança adicional incluindo as incertezas associadas aos sistemas naturais que não são quantificáveis (Rebelo, 2018).

Tabela 19: Priorização de danos (adaptado de Rebelo, 2018).

Dano (di)	Fator de importância (fi)	Nível de importância
$d_i \leq 0,5$	1	Pouca importância
$0,5 < d_i < 1$	2	Entre pouco importante e fraca importância
$1 \leq d_i < 1,2$	3	Fraca importância
$1,2 \leq d_i < 2$	4	Entre fraca importância e essencialmente importante
$2 \leq d_i < 2,4$	5	Essencialmente importante
$2,4 \leq d_i < 3$	6	Entre essencialmente importante e importância
$3 \leq d_i < 3,2$	7	Importância demonstrada
$3,2 \leq d_i < 4$	8	Entre importância demonstrada e importância absoluta
$d_i \geq 4$	9	Importância absoluta

Uma vez, concluída a determinação dos danos parciais (d_i), a partir da expressão (3), procedeu-se à determinação do dano associado à totalidade das barreiras, representado abaixo na Tabela 20, segundo a expressão (4):

$$Dano = \frac{\sum(d_i \times n)}{f_{normalização}} \quad (4)$$

$$f_{normalização} = f_i max \times n \quad (5)$$

Onde:

- n — nº de barreiras equivalentes;
- $f_{normalização}$ — fator de normalização.

Tabela 20: Barreiras equivalentes e dano associado.

Tipo de barreira	Nº de barreiras equivalente	f _i	d _i	
Rega gota-a-gota		2	2	4
Tratamento secundário		1	6	6
Desinfecção por cloragem		2	6	12
Controlo de acesso a áreas regadas		3	2	6
Decaimento natural de microrganismos		1	2	2
Sinalização		1	7	7
Sistema de deteção de fugas + capacidade de retenção total		2	2	4
		Dano		0,68

Estando determinado o perigo, vulnerabilidade por recetor e dano associado, procede-se ao cálculo do risco por recetor. Como explicado anteriormente, é calculado através da seguinte expressão (5):

$$R_{recetor} = Perigo \times V_{recetor} \times Dano \quad (5)$$

Obtendo-se os seguintes resultados:

- Trabalhadores da vinha: 2,47
- Envolvência (vizinhos): 2,47

Uma vez calculados os riscos por recetor (riscos parciais), recorreu-se à expressão (6) para obter o risco global:

$$R_{global} = \frac{\sum R_{recetor}}{N_{recetor}} \quad (6)$$

Onde: $N_{recetor}$ representa o número de recetores.

Deste modo, segundo a expressão (6), o risco global associado a este caso de estudo é:

❖ **$R_{\text{global}} = 2,47$**

Como previsto no Guia, o valor de R_{Global} varia entre zero e um valor máximo de nove, dependendo do número de cenários de exposição e barreiras consideradas no projeto.

Os possíveis resultados podem ser expressos em três níveis de risco, nomeadamente:

- Desprezável, se R_{Global} for inferior a três;
- Aceitável, se R_{Global} for maior ou igual que três e menor que sete;
- Inaceitável se R_{Global} for maior ou igual que sete.

Assim, o risco global do projeto, para a saúde, é classificado com nível de **risco desprezável**.

4.4.2. Avaliação do risco sobre recursos hídricos

4.4.2.1. Identificação dos perigos sobre os recursos hídricos

Os recursos hídricos estão sujeitos às características do meio onde se encontram, sendo diretamente ou indiretamente afetados pelas ações humanas e naturais (Afonso, 2006).

Segundo o Guia, os potenciais perigos para os recursos hídricos são os perigos químicos e, dependendo das tipologias de usos existentes, microbiológicos. Perante estes parâmetros, englobam-se todas as substâncias e compostos químicos com potencial para originar danos nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, seja pela degradação da qualidade hídrica ou por interferência com as possíveis utilizações da água.

Estes danos expressam-se pela não contribuição/manutenção, do bom estado da água. Em particular, os nutrientes, azoto e fósforo, são considerados como principais perigos, devido ao facto de potencializarem o fenómeno de eutrofização nos corpos de água.

4.4.2.2. Identificação de recetores, vias de exposição, cenários de exposição e barreiras

4.4.2.2.1. Metodologia proposta no Guia

De acordo com o Guia, a nível de impactes sobre recursos hídricos, os recetores a considerar são: águas superficiais e subterrâneas.

Em termos de vias de exposição, estas subdividem-se em vias diretas e indiretas. Como vias diretas existem a rejeição, infiltração e deposição, como vias indiretas existem a ressuspensão, lixiviação e percolação (Guia), como representado na Figura 3.

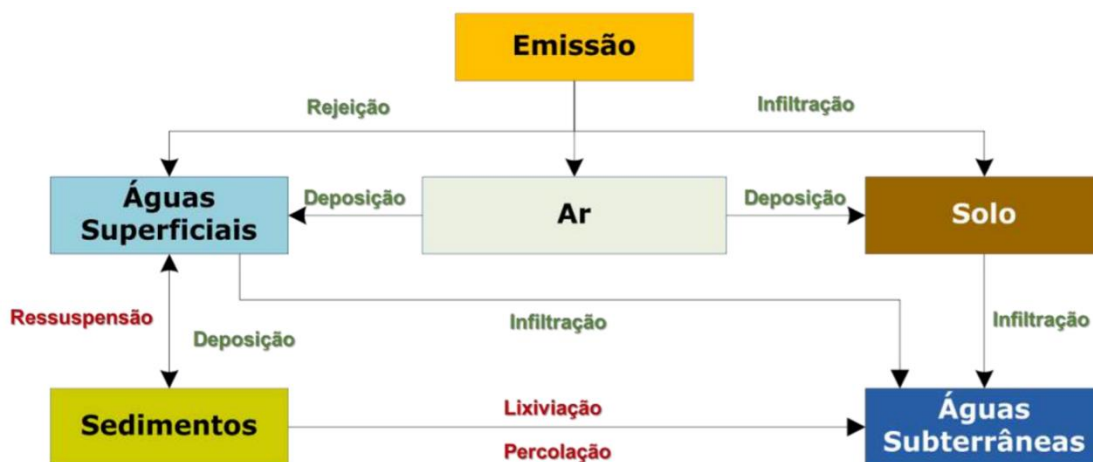


Figura 3. Vias de exposição para os recursos hídricos (adaptado do Guia para Reutilização de Água – Usos não Potáveis - APA).

Como previsto no Guia, os cenários de exposição a considerar, no presente caso de estudo, são as emissões, rejeições ou fugas que possam ocorrer na produção, distribuição, armazenamento e aplicação da ApR.

Segundo o Guia, a nível dos recursos hídricos não é considerado o conceito de barreira equivalente. Deste modo, cada barreira equivale a uma única barreira e poderão ser aplicadas ao longo das várias fases do projeto de reutilização, com o intuito de minimizar e/ou eliminar os cenários de exposição identificados.

4.4.2.2.2. Aplicação ao caso de estudo

No que concerne aos recetores, estes são as águas subterrâneas e superficiais. As vias de exposição diretas, são a rejeição, infiltração e deposição, sendo as vias de exposição indiretas a ressuspensão, lixiviação e percolação.

Relativamente aos cenários de exposição, no presente caso de estudo, as emissões não representam um cenário de exposição, devido ao fato de a ApR não se encontrar no estado gasoso em nenhuma fase do projeto (distribuição, armazenamento ou aplicação). Deste modo, os cenários de exposição considerados são, as rejeições e fugas.

No que diz respeito a este caso de estudo, é de evidenciar que existe a presença de um curso de água a cerca de 65m de distância do ponto de entrega da ApR, onde é descarregado o efluente tratado da ETAR de S. Miguel de Machede. Sendo assim, a área de impacto do projeto,

relativamente aos recursos hídricos, a mesma da própria ETAR, que possui licença de descarga de efluente, estando assim, dentro dos parâmetros exigidos por lei. Assim, é possível determinar que a aplicação da ApR não origina impactos adicionais, tanto a nível subterrâneo como superficial.

Uma vez que a área de impacto do caso de estudo é a mesma que a da ETAR e que esta respeita integralmente a licença de descarga, não existe a necessidade de aplicação de barreiras no presente caso de estudo. No entanto, este projeto possui barreiras já implementadas, nomeadamente:

- Sistema de rega-gota-a-gota utilizado na vinha, representa uma barreira do tipo retenção parcial/ sistema de rega adequado às necessidades hídricas. Este tipo de barreira atua, sobre o recetor, como um sistema de controlo de dotação de água à vegetação garantindo o uso mínimo para satisfação das necessidades hídricas;
- Sistema de deteção de fugas (caudalímetro), que atua como um sistema de alerta para identificação de fugas nos sistemas de tubagem e armazenamento. Esta barreira pode ser aplicada na fase de produção, distribuição ou aplicação.
- Capacidade de retenção total, que permite a interrupção imediata do fornecimento de água para reutilização em caso de deteção de anomalias na fase de produção, distribuição ou aplicação.

É importante realçar que a conjunção de diversas barreiras entre si, potencializa a redução do risco associado ao projeto de reutilização.

4.4.2.3. Eventos adversos

No que respeita aos eventos adversos, estes são eventos relacionados com falhas no sistema de tratamento e barreiras aplicadas, que conduzam a um não cumprimento das normas de qualidade mínima.

Na Tabela 21, apresentam-se os eventos adversos passíveis de ocorrer e as respetivas probabilidades de ocorrência associadas, anteriormente descritas na Tabela 14.

Tabela 21: probabilidades de ocorrência associadas aos eventos adversos (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Eventos adversos	Descritor de probabilidade
Falhas no sistema de tratamento originando incumprimento das normas de qualidade mínima	Possível
Contaminação externa ao sistema de tratamento (sistema de distribuição ou local de armazenamento)	Pouco provável
Ruturas ou fugas nas tubagens de rega agrícola	Pouco provável
Fenómenos de cheias que provoquem o transbordo da albufeira	Pouco provável

Assim como no caso das barreiras, que podem ser ajustadas ao longo da duração do projeto consoante as alterações que possam ocorrer no mesmo, a identificação dos eventos adversos também pode e deve ser ajustada.

4.4.2.4. Caraterização do risco

Para a caracterização do risco sobre os recursos hídricos, recorreu-se a uma metodologia semi-quantitativa idêntica à anteriormente utilizada na caracterização do risco sobre a saúde, com respetivas diferenças, que serão explicadas mais à frente. A metodologia é, novamente, suportada na escala de importância proposta por Saaty.

Segundo o Guia, os níveis de perigo (P) para a aplicação de ApR devem variar em função dos dados de monitorização dos meios recetores potencialmente afetados e em função da classificação dos meios recetores. Os níveis de perigo a considerar encontram-se descritos na Tabela 22, abaixo apresentada.

Tabela 22: Nível de perigo para aplicação de ApR em zonas sensíveis à eutrofização, vulnerabilidade à poluição por nitratos ou massas de água com estado inferior a bom (parâmetros responsáveis N ou P), (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Tipo de tratamento	Nível	Nutrientes (mg L ⁻¹)	Classificação (P)
Sem remoção de nutrientes	V	N > 15 e P > 3	9
Com remoção parcial de N ou P ¹	IV	N ≤ 15 ou P ≤ 3	7
Com remoção parcial de N ou P ¹	III	N ≤ 15 ou P ≤ 3	5
Com remoção parcial de N e P	II	N ≤ 10 e P ≤ 3	3
Com remoção avançada de N e P	I	N ≤ 5 e P ≤ 0,5	1

¹ Em zonas vulneráveis à poluição por nitratos ou estado da massa de água inferior a Bom devido a parâmetro N, considerar N no nível IV e P no nível III; em zonas sensíveis à eutrofização ou estado da massa de água inferior a Bom devido a parâmetro P, considerar P no nível IV e N no nível II

Nesta fase da avaliação de risco, para efeitos de segurança e fiabilidade dos resultados, foi efetuada uma cenarização para o pior caso possível, classificando assim o perigo com nível V e importância 9.

De acordo com o Guia, o cálculo da vulnerabilidade dos recursos hídricos é desenvolvido através da conjugação da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos com os respectivos cenários de exposição e número de barreiras aplicadas neste projeto. Neste sentido, recorreu-se à matriz de avaliação do risco para as águas superficiais e subterrâneas (presente na ISO 16075-1:2015), abaixo apresentada na Figura 4, em função das correspondentes características hidrogeológicas. Deste modo, foram obtidas as vulnerabilidades parciais para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos ($V_{pag\ sup}$ e $V_{pag\ sub}$, respetivamente), através da interpretação direta da respetiva matriz.

Infiltração nas águas subterrâneas			Ausência de infiltração	Baixa infiltração	Média infiltração	Elevada infiltração
			I	II	III	IV
Risco para águas subterrâneas	Aquífero superficial com ausência de camada protetora de argila	I	2	4	6	6
	Aquífero profundo com camada protetora de argila	II	2	4	4	6
	Aquífero profundo com camada protetora de argila significativa	III	2	2	4	4
	Ausência de aquífero com continuidade hidrológica na área	IV	2	2	4	4
Risco para águas superficiais			6	6	4	2
			IV	III	II	I
			Elevada escorrência superficial	Média escorrência superficial	Baixa escorrência superficial	Ausência escorrência superficial
			Escorrência superficial			

Figura 4. Matriz de avaliação do risco para as águas superficiais e subterrâneas (ISO 16075-1:2015)

De modo a calcular a vulnerabilidade das águas subterrâneas, foi necessário determinar a presença de aquíferos e tipo de camada protetora, assim como, a taxa de infiltração correspondente ao local de desenvolvimento do projeto.

Segundo o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (doravante, SNIRH), existem quatro unidades hidromorfológicas, estabelecidas pelo INAG de acordo com a correspondência entre a distribuição e características dos aquíferos e as unidades geológicas.

São Miguel de Machede encontra-se na unidade hidromorfológica denominada por Maciço Antigo, também conhecido por Maciço Ibérico ou Maciço Hespérico, a qual é utilizada como base na individualização dos diversos sistemas aquíferos. As litologias correspondentes ao Maciço Antigo, podem ser consideradas, como materiais com uma reduzida aptidão hidrogeológica e poucos recursos hídricos subterrâneos (Almeida, 2000).

De acordo com a informação disponibilizada no portal informático da Casa Relvas, o solo na vinha, da Herdade da Pimenta, tem características franco-argilosas. Os solos franco-argilosos apresentam uma baixa capacidade de infiltração, com velocidades de infiltração entre os 5 e 10 mm /h (Paz, 2010).

Analisando a Figura 5, abaixo apresentada, disponível na plataforma informática do SNIRH, é possível determinar que não existe a presença de sistemas de aquíferos identificados, na zona de S. Miguel de Machede, pertencendo assim ao sistema de aquíferos A0- Maciço Antigo

Indiferenciado. Deste modo, de acordo com a matriz de avaliação do risco para as águas superficiais e subterrâneas, obtém-se uma vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos de nível 2.

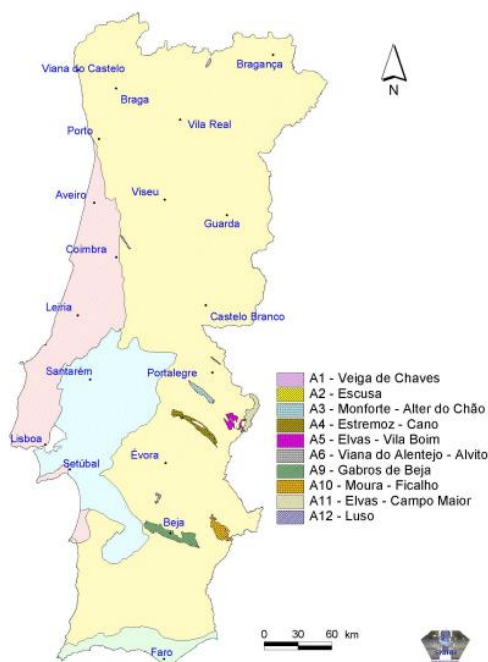


Figura 5. Distribuição de sistemas aquíferos no Maciço Antigo (SNIRH, 2019)

A nível da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais, de acordo com a respetiva matriz, é necessário correlacionar a escorrência superficial com o respetivo risco associado.

É de notar que o sistema de rega utilizado é rega-gota-a-gota, o que numa situação normal não origina escorrências, e que a ApR é entregue e armazenada numa albufeira, a qual em situações normais também não origina escorrências.

Contudo, podem ocorrer fenómenos de cheias que originem o transbordo da albufeira, originando escorrências para o curso de água localizado a aproximadamente 65m de distância, assim como, as tubagens de rega podem sofrer ruturas originando fugas que resultem, igualmente, em escorrências. Embora estes sejam cenários pouco prováveis de ocorrer, considerou-se no parâmetro de escorrência superficial da matriz, baixa escorrência superficial. Deste modo, de acordo com a matriz de avaliação do risco para as águas superficiais e subterrâneas, obtém-se uma vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais de nível 4.

Para determinar a vulnerabilidade global dos recursos hídricos (V_G), segundo o Guia, recorreu-se, primeiramente, à expressão (7), abaixo representada, para determinar a vulnerabilidade dos recursos hídricos (V_{RH}):

$$V_{RH} = V_{Pag\ sub} \times f_{Pag\ sub} + V_{Pag\ sup} \times f_{Pag\ sup} \quad (7)$$

Onde:

- V_{RH} — Vulnerabilidade dos recursos hídricos;
- $V_{Pag\ sub}$ – Vulnerabilidade parcial das águas subterrâneas;
- $V_{Pag\ sup}$ – Vulnerabilidade parcial das águas superficiais;
- $f_{Pag\ sub}$ – Fator de ponderação para as águas subterrâneas ($f_{Pag\ sub} = V_{Pag\ sub} / (V_{Pag\ sub} + V_{Pag\ sup})$);
- $f_{Pag\ sup}$ – Fator de ponderação para as águas superficiais ($f_{Pag\ sup} = V_{Pag\ sup} / (V_{Pag\ sub} + V_{Pag\ sup})$).

Assim, os valores determinados foram:

- Vulnerabilidade parcial dos recursos hídricos subterrâneos: 2
- Vulnerabilidade parcial dos recursos hídricos superficiais: 4
- Vulnerabilidade dos recursos hídricos: 3,3

A partir da expressão acima é possível obter quatro valores referentes à vulnerabilidade dos recursos hídricos, para cada valor obtido existe um fator de importância associado, como representado na Tabela 23, abaixo representada. Através da interpretação da Tabela 23, é possível verificar que o fator de importância associado, à vulnerabilidade dos recursos hídricos obtida neste caso de estudo, é de valor três.

Tabela 23: Vulnerabilidade dos recursos hídricos expressa em importância (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

V_{RH}	$V_{RH\ i}$
5,2	9
5,0	7
4,0	5
3,3	3

Como previsto no Guia, a determinação da vulnerabilidade global consiste na conjugação da vulnerabilidade dos recursos hídricos, já expressa em níveis de importância, com as barreiras aplicadas. Do mesmo modo como a vulnerabilidade dos recursos hídricos possui fatores de importância associados, assim acontece com as barreiras, como representado na Tabela 24.

Tabela 24: Definição de barreiras a aplicar e respetivos fatores de importância associados

(Adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Barreira	Fator de Importância (fi barreira)
Ausência de barreiras	9
Sistema de deteção de fugas	7
Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	5
Capacidade de retenção total	3

Conforme referido anteriormente, as barreiras aplicadas neste projeto são capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas, sistema de deteção de fugas (caudalímetro) e capacidade de retenção total. Adotando fatores de importância 5, 7 e 3, respetivamente.

Relativamente aos cenários de exposição, como referido anteriormente, considerou-se que seriam todo o tipo de exposição proveniente das várias fases do sistema, respetivamente, emissões, rejeições ou fugas nas fases de produção, distribuição, armazenamento ou aplicação.

Como previsto no Guia, é possível aplicar a cada via de exposição uma ou duas barreiras, que se traduzem no número total de cenários que poderão estar presentes, como descrito na Tabela 25, abaixo representada.

Tabela 25: Barreiras implementadas e respetivo número de cenários de exposição associado.

	Barreiras	Nº de cenários de exposição (n _{cen})
Vias de exposição	Ausência de barreiras	1
	Sistema de deteção de fugas	1
	Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	1
	Capacidade de retenção total	1
	Sistema de deteção de fugas + Capacidade de retenção total	2
n _{cen} total		3

Deste modo, a vulnerabilidade global é finalmente obtida a partir da aplicação da expressão (8), abaixo apresentada:

$$V_G = V_{RH\ i} \times \frac{\sum f_{i\ barreira}}{f_{max} \times n_{cen}} \quad (8)$$

Onde:

- $V_{RH\ i}$ – Vulnerabilidade dos recursos hídricos expressa em importância;
- $f_{i\ barreira}$ – Fator de importância associado a cada barreira implantada;
- f_{max} – Fator de importância máximo da escala de Saaty ($f_{max} = 9$);
- n_{cen} – Número de cenários de exposição.

Através da aplicação da equação (8), foi obtida uma vulnerabilidade global dos recursos hídricos com valor 1,7.

Após determinar o perigo e vulnerabilidade global associados aos recursos hídricos, como descrito no Guia, é necessário determinar a probabilidade de falha das barreiras e respetiva severidade dos danos associados, de modo a ser possível calcular o risco para os recursos hídricos.

Como a falha de uma barreira pode originar a exposição do meio hídrico a contaminações, torna-se necessário determinar a probabilidade de tais falhas ocorrerem. Na Tabela 26, abaixo apresentada, estão identificados os descritores de probabilidade, respetivas observações e os valores associados a cada descritor de probabilidade.

Tabela 26: Probabilidade ocorrência de exposição dos recursos hídricos à contaminação

(adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Probabilidade de ocorrência de exposição	Valor	Observações
Quase certa	5	Via de contaminação demonstrada
Provável	4	Via de contaminação possível
Possível	3	Eventual via de contaminação
Pouco provável	2	Ausência de dados sobre a via de contaminação

A probabilidade de ocorrência de exposição foi determinada como possível, obtendo assim um valor associado de três.

Assim, após determinada a probabilidade de ocorrência de exposição dos recursos hídricos à contaminação, procede-se à determinação da severidade dos danos associados, recorrendo a uma classificação do meio recetor, usos e estado da massa de água, conforme descrito na Tabela 27, abaixo representada, onde se associa um valor à respetiva severidade.

Tabela 27: Severidade dos danos para os recursos hídricos (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Severidade dos danos	Valor	Observações
Severo	5	Massa de água com estado inferior a bom
Forte	4	Massa de água em bom estado, com uso definido e com classificação (vulnerável à poluição por nitratos ou zona sensível)
Moderado	3	Massa de água em bom estado, com uso definido ou com classificação (vulnerável à poluição por nitratos ou zona sensível)
Fraco	2	Massa de água em bom estado, sem uso definido ou classificação

É de evidenciar que, conforme referido anteriormente, a ETAR de S. Miguel de Machede efetua a descarga do seu efluente tratado no curso de água situado a cerca de sessenta e cinco metros a jusante do ponto de aplicação da ApR. Ação esta, para a qual, usufrui de licenciamento.

Como tal, a severidade de danos associados à falha de barreiras será fraca, adotando um valor de dois, visto não contribuir para o decréscimo da qualidade atual dos recursos hídricos.

Estando determinado a probabilidade de falha de barreiras e respetiva severidade de danos associados, é possível determinar o dano (D) associado às vias e cenários de exposição considerados, através da interpretação direta da matriz de determinação do dano, representada na Figura 6, abaixo apresentada.

			Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
			Probabilidade de ocorrência de exposição			
			2	3	4	5
Fraco	Severidade dos danos	2	2	4	4	5
Moderado		3	4	4	6	7
Forte		4	4	5	8	9
Severo		5	5	7	9	9

Figura 6. Matriz de determinação do dano (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA)

Ao relacionar os valores obtidos na Tabela 23 e Tabela 24 com a matriz de determinação do dano, obteve-se dano parcial com valor quatro, para cada barreira. Após calcular os danos parciais, é possível calcular o dano total, através da expressão (4), apresentada anteriormente no subcapítulo 4.4.1.7.

Uma vez calculado o perigo, vulnerabilidade global e obtidos todos os parâmetros, representados abaixo na Tabela 28, é possível calcular o risco para os recursos hídricos (R_{RH}).

Tabela 28: Dano associado aos recursos hídricos.

Barreira	Probabilidade de ocorrência de exposição	Severidade dos danos	Dano (di)	Nº de cenários de exposição (n cen)
Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	3	2	4	1
Sistema de deteção de fugas +Capacidade de retenção total	3	2	4	2
Dano total			0,4	

Assim, o risco para os recursos hídricos (R_{RH}) é calculado segundo a expressão (9):

$$R_{RH} = P \times V_G \times \frac{D}{9} \quad (9)$$

Onde:

- P – Perigo (nível de perigo);
- V_G – Vulnerabilidade global;
- $D/9$ – Valor do dano normalizado, segundo as equações (4) e (5).

Assim, o valor obtido do risco, para os recursos hídricos, é:

$$\diamond R_{RH} = 0,68$$

Tal como no risco para a saúde, o valor de risco para os recursos hídricos (R_{RH}) varia entre um valor acima de zero e um valor máximo de nove, dependendo das características avaliadas até agora. Os possíveis resultados obtidos, podem ser classificados em três níveis do risco:

- Desprezável, se $R_{RH} < 3$
- Aceitável, se $3 \leq R_{RH} < 7$
- Inaceitável, se $R_{RH} \geq 7$

De acordo com a classificação acima exposta, o **risco para os recursos hídricos** obtido neste projeto, é classificado como **desprezável**.

4.5. Gestão do risco (normas de qualidade e de barreiras a aplicar)

De acordo com o Guia, após ser determinado o menor nível de risco possível para este projeto, é necessário efetuar uma gestão do mesmo, com vista a evitar um aumento do nível de risco.

De modo, a melhor compreender a questão de gestão do risco, a Tabela 29 abaixo apresentada, representa um quadro-modelo (adotado do Guia) para a gestão do risco, onde P, VR, DR, RR representam o nível de perigo, a vulnerabilidade do recetor, o dano para o recetor e o risco para o recetor, respetivamente.

A partir desta tabela é possível determinar o impacto individual que cada barreira tem sobre os riscos, tornando-se assim possível obter uma noção da importância da função desempenhada por cada barreira. O projeto de reutilização deve ser periodicamente reavaliado, de modo a proporcionar uma melhoria contínua, garantindo, deste modo, o menor nível de risco possível.

Para tal, deve-se proceder à implementação das barreiras anteriormente definidas, assim como, à definição de planos de manutenção e ação, das mesmas. Devem ainda, estar presentes,

medidas corretivas para a ocorrência de irregularidades, garantindo assim, integridade no projeto.

Tais planos de manutenção e ação devem ter definidas regras para a execução de controlo e gestão de equipamentos, assim como, monitorização dos parâmetros expressos nas normas de qualidade mínima, de acordo com o que, posteriormente, virá a ser definido nas respetivas licenças de produção e utilização.

Tabela 29: Quadro-modelo para a gestão do risco sobre a saúde e recursos hídricos (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA)

Perigo	Origem das águas residuais	Finalidade pretendida	Risco máximo				Barreira	Risco residual			
			P	V _R	D _R	R _R		P	V _R	D _R	R _R
Risco sobre a saúde humana	ETAR S. Miguel de Machede	Rega agrícola	7	0,5	0,7	2,5	Sistema de deteção de fugas +Capacidade de retenção total	7	0,5	0,4	1,5
							Rega gota-a-gota	7	0,5	0,4	1,5
							Tratamento secundário	7	0,5	0,7	2,2
							Desinfeção por cloragem	7	0,5	1,3	4,3
							Controlo de acesso a áreas regadas	7	0,5	0,7	2,2
							Decaimento natural de microrganismos	7	0,5	0,1	0,2
							Sinalização	7	0,5	0,8	2,5
							Ausência de barreiras	9	3	0,8	2,3
Sobre os recursos hídricos	ETAR S. Miguel de Machede	Rega agrícola	9	3	0,8	2,3	Sistema de deteção de fugas +Capacidade de retenção total	9	1,7	0,4	0,7
							Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	9	1,7	0,4	0,7

Como se pode verificar após analisar a Tabela 29, as barreiras aplicadas reduzem significativamente o risco.

No entanto, as barreiras com maior redução do risco, sobre a saúde, são a desinfeção por cloragem, sinalização e tratamento secundário. Assim sendo, estas barreiras serão alvo de uma

monitorização mais minuciosa, em relação às restantes, pois em caso de falha as consequências serão mais significativas.

É de evidenciar que todas as barreiras, aplicadas sobre os recursos hídricos, apresentam o mesmo risco residual devido ao facto de a severidade dos danos ser igual para todas, assim como, a probabilidade de ocorrência de exposição, resultando assim, em danos parciais iguais.

4.6. Licenciamento de produção e utilização de ApR

Como referido anteriormente, segundo o DL 119/2019, tanto a nível da produção de ApR como da respetiva utilização, existe obrigatoriedade de obtenção de licença, previamente ao início da atividade. Tais licenças são requeridas à APA na plataforma informática SILiAmb.

Sendo a ETAR de S. Miguel de Machede, um sistema centralizado, com o intuito de produção de ApR para cedência a terceiros (LOGOWINES, S.A.), é necessário a obtenção de licença de produção com inclusão de cedência a terceiros.

Neste caso, o titular da licença será a entidade gestora da ETAR de S. Miguel de Machede, que neste caso é a Águas do Vale do Tejo cuja gestão do sistema foi delegada na EPAL nos termos previstos no decreto-lei de constituição da sociedade.

Para obter esta licença, a entidade gestora, tem que deter, obrigatoriamente, um título de utilização dos recursos hídricos (TURH) para rejeição de águas residuais tratadas para o meio recetor (este título é aplicável ao ponto de descarga direta do efluente da ETAR nos recursos hídricos) e apresentar à APA um conjunto de requerimentos obrigatórios, descritos no Anexo I, nomeadamente, uma avaliação do risco do respetivo projeto.

O gestor do sistema centralizado e titular do TURH de rejeição é assim, responsável pela descarga do efluente tratado nos recursos hídricos de acordo com o definido no respetivo TURH e pela qualidade da água até ao ponto de entrega, em concordância com o normativo aplicável descrito na licença de produção.

Uma vez emitida a licença de produção, por parte da APA, e uma vez que o objetivo da utilização de ApR é a rega agrícola, a APA remete o requerimento para parecer vinculativo por parte da ARS e DRAP, territorialmente competentes, assim como, uma cópia da licença à entidade gestora.

Após a emissão da licença de produção, a entidade gestora é obrigada a solicitar o parecer da entidade ERSAR, de modo a esta autorizar a cedência a terceiros. Uma vez emitida a autorização para cedência a terceiros, por parte da ERSAR, cabe à entidade gestora comunicar ao(s) utilizador(es) final(ais) interessados as respetivas condições de fornecimento da ApR.

Após a comunicação ao utilizador final, este deve realizar uma avaliação do risco desde o ponto de entrega até ao ponto de aplicação (inclusive). É de evidenciar que a avaliação do risco do

presente caso de estudo engloba todos os pontos do projeto desde o ponto de produção até ao ponto de aplicação (inclusive).

Uma vez realizada, a avaliação do risco, o utilizador deve requerer à APA a licença de utilização da ApR. Neste requerimento devem estar incluídos os elementos do Anexo I e a respetiva licença de produção.

Após a validação do requerimento e respetivos elementos, a ARS e DRAP podem vir a realizar nova consulta na eventualidade da utilização em particular poder não estar incluída no procedimento de licença para produção de ApR, podendo assim, necessitar de definirem condicionamentos específicos.

Tanto a cedência de água a terceiros, como a utilização da água pelos mesmos, só podem ocorrer na presença de licença de produção de ApR e licença de utilização de ApR, respetivamente.

4.7. Planos de monitorização

4.7.1. Amostragem e metodologias analíticas

De acordo com o Guia, o desenvolvimento e implementação de planos de monitorização, em projetos de reutilização de água, é essencial para assegurar a integridade e segurança dos projetos.

Devem ser definidos, em geral, planos de monitorização para proteção da saúde humana (englobando os respetivos indicadores microbiológicos e parâmetros de resposta à fiabilidade do sistema de tratamento) e para prevenção de possíveis efeitos adversos sobre os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, onde estão incluídos os parâmetros com potencial para causar dano (nutrientes, indicadores microbiológicos, etc.).

Tal como para a saúde e recursos hídricos, também devem ser estabelecidos planos de monitorização para a proteção das culturas e respetivos solos (o que inclui parâmetros agronómicos como, nutrientes, metais pesados, etc.), assim como, para a proteção dos equipamentos (prevenindo entupimentos e corrosão, provocados por parâmetros como, alcalinidade, cloro residual, pH, etc.).

Os planos de monitorização podem distinguir-se em três grupos:

- Monitorização de validação;
- Monitorização de desempenho ou operacional;
- Monitorização de conformidade.

De modo a cumprir os planos de monitorização, deve se proceder à recolha de amostras compostas ou pontuais, conforme a matriz a amostrar, dos parâmetros com potencial para causar dano. As amostragens devem ser efetuadas no ponto de entrega e/ou ponto de aplicação da ApR, sendo que, as amostras devem ser compostas e representativas de um período de 24 horas, para efeitos de verificação da conformidade das ApR.

Os intervalos de recolha das respetivas amostras, deveram ser preferencialmente proporcionais aos volumes de ApR produzida, no entanto, para volumes acima dos 1000 m³/dia, os intervalos máximos de recolha deverão ser de 1 hora.

Respetivamente aos parâmetros microbiológicos e compostos voláteis, devido à sua natureza, deverão ser efetuadas amostragens pontuais. É ainda de referir que, caso a recolha de amostras compostas seja inviável no ponto de aplicação, devido às características da aplicação da ApR ou se tiver um período de armazenamento superior a 24 horas, a recolha poderá ser realizada por recurso a tomas discretas.

Os parâmetros com monitorização contínua requerem uma amostragem pontual, devido à especificidade da técnica analítica a que se recorre, que implica a toma automática de um certo volume de amostra a curtos intervalos de tempo.

De acordo com o Guia, relativamente às águas subterrâneas e/ou superficiais, é obrigatório a recolha de amostras pontuais e análise, conforme descrito no Decreto-Lei n.º 83/2011, de 20 de junho, de todas as matrizes hídricas. No entanto, deve-se recorrer a métodos analíticos devidamente acreditados, caso se verifique a impossibilidade de demonstração dos critérios definidos no referido Guia.

A nível dos solos, devem ser efetuadas amostragens à profundidade adequada ao respetivo tipo de rega utilizado no ponto de aplicação da ApR, sendo no presente projeto rega gota-a-gota. Relativamente à vegetação poderá ser necessário efetuar a recolha de uma ou mais amostras (plantas ou partes de plantas) para análise, de inspeção visual ou de outro tipo que seja adequado.

4.7.2. Monitorização de validação

Nesta fase, de acordo com o Guia, é pretendido assegurar que o sistema de reutilização cumpre os requisitos inicialmente definidos. Garantindo que os processos e procedimentos previstos, no decorrer do projeto, controlam, sem falhas, os riscos identificados no respetivo sistema de reutilização.

Um dos principais objetivos da monitorização de validação é, efetivamente, validar que o sistema de produção ApR está apto a entregar água com a qualidade mínima requerida para a utilização pretendida.

Para tal ocorrer, devem ser incluídos os parâmetros de verificação de desempenho do sistema de tratamento e respetiva fiabilidade de resultados, os quais devem cumprir os requisitos definidos inicialmente.

É ainda de evidenciar, que a validação é um plano pontual de monitorização que, obrigatoriamente, é executado antes do início de funcionamento do projeto e que deverá ser repetido na eventualidade de ampliação ou reestruturação do sistema de tratamento, assim como, substituição dos respetivos equipamentos.

4.7.3. Monitorização de verificação de desempenho ou operacional

Conforme descrito no Guia, a monitorização operacional consiste no controlo do desempenho do sistema de produção de ApR e da sua fiabilidade, implementando o controlo dos parâmetros operacionais adequados ao tipo de tratamento existente.

A nível das restantes fases do sistema de reutilização (armazenamento, distribuição e aplicação) é efetuada a monitorização recorrendo ao controlo da fiabilidade das medidas preventivas aplicadas.

É necessário definir os pontos críticos de controlo, para a monitorização das barreiras, ao longo de todo o sistema de reutilização. Para tal, recorreu-se à árvore de decisão, adaptada do Guia de reutilização da APA, apresentada no Anexo II. Os pontos críticos identificados encontram-se descritos na Tabela 30, abaixo apresentada.

Tabela 30: Pontos críticos, respetivos planos de monitorização de desempenho ou operacional e frequência de amostragem (adaptado do Guia de Reutilização da APA e L. Alcalde-Sanz and Gawlik, 2017).

Ponto crítico	Parâmetros a monitorizar	Frequência de amostragem
Tratamento secundário (lamas ativadas)	Caudal	Contínua
	Oxigénio dissolvido	
	CBO5	Semanal
	Sólidos suspensos	
	Tempo de retenção de sólidos	
Cloragem	Tempo de retenção hidráulica	Contínua
	Cloro residual livre	
	Ct ¹	
	pH	
	Temperatura	
Estação elevatória de ApR	Caudal	Contínua
	Pressão	

¹ Ct representa o produto da concentração de cloro residual livre pelo tempo de contacto requerido para alcance de um dado nível de mortandade

Os parâmetros identificados nos planos de monitorização operacional foram selecionados de acordo com a facilidade de medição e resposta em termos de desempenho da barreira, possibilitando assim, aplicar prontamente as ações corretivas. Neste sentido, deve-se dar preferência aos parâmetros de monitorização contínua.

Além do controlo analítico, estão ainda definidos, planos de monitorização visual/manual, para controlo do estado dos equipamentos da ETAR, com uma frequência de três dias por semana. As frequências de amostragem foram definidas de acordo com a resposta do parâmetro em função da necessidade de implementação de ação corretiva e possível interrupção de fornecimento/aplicação de ApR.

4.7.4. Definição de planos de segurança

De acordo com o Guia, devem ser definidos planos de segurança, de modo a controlar o desempenho de um sistema de reutilização, desde as origens da água, a montante do sistema de tratamento, até ao ponto de aplicação da ApR.

Um plano de segurança deve descrever os protocolos de monitorização e resposta, a seguir perante a eventualidade de alterações na qualidade da ApR. Deve descrever as ações corretivas de tratamento ou possível interrupção do fornecimento de água, assim como os vários procedimentos de manutenção necessários para executar uma gestão correta de todas as fases do sistema de reutilização

A responsabilidade pela sua definição e respetiva aplicação, obrigatoriamente, será repartida entre o produtor e o utilizador de ApR, sendo que estas são duas entidades distintas. Respetivamente, o produtor é responsável desde a produção até à entrega e o utilizador desde a entrega até à aplicação. Os respetivos conteúdos de um plano de segurança encontram-se descritos, resumidamente, na Tabela 31, abaixo apresentada.

Tabela 31: Resumo do conteúdo de um plano de segurança (adaptado do Guia de Reutilização da APA).

Conteúdo	Observações
Origens da água	Características da água afluenta ao sistema de tratamento de águas residuais
Quantidade	Garantir que quantidade de ApR produzida corresponde á quantidade necessária para os usos pretendidos
Qualidade	Garantir produção da ApR com qualidade mínima requerida para o uso pretendido
Armazenamento	Garantir quantidade e manutenção da qualidade
Distribuição	Garantir manutenção de qualidade, em quantidade suficiente para satisfazer as necessidades e gestão para minimização dos riscos
Aplicação	Garantir qualidade e gestão para minimização dos riscos

A nível do ponto de armazenamento, segundo o Guia e a ISO 20760-1:2018, os aspetos qualitativos problemáticos mais comuns a ter em conta no armazenamento de ApR são:

Tabela 32: aspetos qualitativos problemáticos mais comuns no armazenamento de ApR (adaptado do Guia de Reutilização da APA e ISO 20760-1:2018).

Aspetos físicos	Aspetos químicos	Aspetos biológicos
Temperatura	Variações de pH e de alcalinidade	Crescimento algal
Sólidos suspensos	Contaminantes químicos	Recontaminação microbiana
Turvação	Formação de subprodutos da desinfecção	Eutrofização
Aspetos estéticos (cor, odor, transparência)	Odor e sabor (devido à presença de alguns dos compostos mencionados)	Contaminação microbiológica

São ainda adotadas medidas informativas, nomeadamente a utilização de tubagens com cor definida para ApR e aplicação de painéis para disponibilização de informação ao público sobre o grau de qualidade da ApR, respetiva utilização e advertências associadas.

4.7.5. Monitorização de verificação de conformidade

Segundo o Guia, a monitorização de verificação de conformidade, consiste na verificação do cumprimento das condições impostas nas licenças de produção e utilização da ApR.

Sendo a ETAR de S. Miguel de Machede, um sistema centralizado, o programa a aplicar à produção é desenvolvido pela EPAL (entidade gestora) e o programa a aplicar à fase de utilização da ApR é efetuado pela LOGOWINES, S.A., como de utilizador final.

4.7.6. Monitorização das ApR

De acordo com o Guia, compete à entidade produtora de ApR (AdVT), a monitorização da ApR produzida, garantindo que os parâmetros, apresentados na Tabela 33, se mantêm até ao ponto de entrega (albufeira da LOGOWINES, S.A.).

Os utilizadores finais devem monitorizar a ApR utilizada, garantindo que a ApR não se degrada desde o ponto de entrega até ao ponto de aplicação. É também obrigatória a monitorização diária dos volumes produzidos e cedidos ao utilizador final.

Tabela 33: Parâmetros a monitorizar nas ApR (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Uso	Parâmetros
Rega agrícola	CBO5
	SST
	Turvação
	<i>E. coli</i>
	Azoto amoniacal
	Azoto total
	Fósforo total
	SAR, salinidade

Segundo o Guia, a *E. coli* é o parâmetro mais específico da contaminação, quando comparado com outros como os coliformes fecais ou coliformes totais.

Uma vez que a ApR tem origem em águas residuais urbanas e possui uma qualidade de classe C, devem ser realizadas amostragens com uma periodicidade semelhante à apresentada no Decreto-Lei, n.º 152/97, de 19 de junho.

A respetiva periodicidade, para as águas de classe C, encontra-se descrita na Tabela 34, abaixo apresentada.

Tabela 34: Parâmetros a analisar e respetiva periodicidade de amostragem para águas de classe C (Adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Classe de qualidade	Parâmetros	Periodicidade de amostragem
C	CBO ⁵	1
	SST	1
	<i>E. coli</i>	Quinzenal
	<i>Legionella spp.</i>	Semanal
	Ovos de parasitas intestinais	Quinzenal ²

¹ Em função do volume produzido e/ou utilizado:

- Até 300 m3/dia: Amostragem trimestral
- Entre 300 e 1500 m3/dia: Amostragem mensal, podendo passar a trimestral nos anos seguintes, se se provar que durante o primeiro ano a água cumpre as disposições do presente decreto-lei; se uma das 4 amostras colhidas nos anos subsequentes não cumprir os requisitos, devem no ano seguinte ser colhidas 12 amostras.
- Entre 1500 e 7500 m3/dia: Amostragem mensal
- Acima de 7500 m3/dia: Amostragem quinzenal

² Após 1 ano de amostragem, a periodicidade de amostragem poderá ser revista em função dos resultados obtidos.

A periodicidade de amostragem, para todos os parâmetros que sejam definidos na licença de produção de ApR com inclusão de cedência a terceiros, deve ser reformulada tendo em conta

os resultados da avaliação do risco. Podendo então, ocorrer alterações nas periodicidades de amostragem para cada parâmetro.

4.7.7. Monitorização do meio recetor

Segundo o Guia, pode ser necessário, de acordo com os resultados obtidos na avaliação do risco, realizar a monitorização dos solos, vegetação ou recursos hídricos para determinação de ocorrência de deterioração, ou não deterioração, consequente da utilização da ApR.

No presente projeto, a avaliação do risco realizada classifica o risco como desprezável, tanto a nível da saúde como dos recursos hídricos. Assim, não se demonstra necessário a realização da monitorização do meio recetor.

4.7.8. Verificação da conformidade com os requisitos da licença

Segundo o Guia, as características da ApR encontram-se em conformidade com as normas de reutilização definidas na avaliação do risco e respetiva licença, se ao realizar as amostragens, estas comprovarem que as águas obedecem às normas de qualidade mínima estabelecidas para cada parâmetro.

A verificação de conformidade com as condições definidas na licença é efetuada anualmente, analisando todos os parâmetros individualmente, segundo as regras definidas. Tais regras, são aplicadas simultaneamente a cada um dos parâmetros de acordo com a periodicidade de amostragem, onde o valor máximo obtido em amostras não conformes durante o ano em análise não ultrapassa a norma de qualidade em mais de 75% e o número máximo anual de amostras não conformes não ultrapassa os limites descritos na Tabela 35, abaixo apresentada.

Tabela 35: Número máximo de amostras que poderão ser não conformes (adaptado do Guia de Reutilização da APA).

Série de amostras colhidas durante um ano	Número máximo de amostras que poderão ser não conformes
4-7	1
8-16	2
17-28	3
29-40	4
41-53	5
54-67	6
68-81	7
82-95	8
96-110	9
111-125	10
126-140	11
141-155	12
156-171	13
172-187	14
188-203	15
204-219	16
220-235	17
236-251	18
252-268	19
269-284	20
285-300	21
301-317	22
318-334	23
335-350	24
351-365	25

4.8. Comunicação do risco

4.8.1. Classificação de graus de qualidade da água

De acordo com o Guia, tendo conhecimento da existência de várias utilizações possíveis onde aplicar a ApR e que o risco associado possui uma elevada variabilidade, torna-se necessário recorrer a critérios de comunicação do risco que sejam facilmente perceptíveis, tanto pela população em geral como, principalmente, pelos utilizadores dos pontos de produção e aplicação da ApR.

Assim, é adotada uma classificação da água em três graus de qualidade, sendo estes, baixo, médio e elevado, respetivamente.

Na Tabela 36, descreve-se o grau de qualidade da água, de S. Miguel de Machede, por exemplos de aplicação de ApR e tipo de tratamento adequado.

Tabela 36: Grau de qualidade da água por exemplos de aplicação de ApR e tipo de tratamento adequado (adaptado do Guia para Reutilização de água da APA).

Grau de qualidade	Tipo de exposição ao público	Exemplos de aplicação de ApR	Tipo de tratamento adequado
Médio	Contato direto acidental (contacto direto não aconselhável)	Suporte de ecossistemas	Tratamento secundário e desinfecção
		Aplicações industriais	
		Água de arrefecimento ou produção energética	
		Rega com água de classes B e C (incluindo rega paisagística ou florestal, com acesso restrito, rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água, rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal, produção de leite ou carne, rega de parques desportivos, tais como campos de golfe, com restrições de acesso)	

4.8.2. Codificação (equipamentos para uso de ApR)

Segundo o Guia, as tubagens e equipamentos envolvidos na utilização da ApR devem ser corretamente assinalados, com o intuito de prevenir usos indevidos da água, assim como, ligações cruzadas com os sistemas de abastecimento de água ou drenagem de águas residuais.

Inicialmente, deve ser determinada, a nível nacional, o tipo de cor correntemente utilizado na identificação tipo de equipamento. Uma vez determinado o tipo de cor, procede-se à sua aplicação.

Em Portugal, não existe uma cor definida para tubagens de ApR. Recorrendo à literatura disponível, determinou-se que o pantone mais utilizado para tubagens de ApR é o 512, como representado na Figura 7, abaixo apresentada.



Figura 7. Pantone 512 para identificação de tubagens de ApR

4.8.3. Informação ao público e trabalhadores dos sistemas de produção de ApR

O Guia define que, um projeto de reutilização deve disponibilizar informação ao público referente à qualidade da ApR em questão, à utilização a que se destina e às devidas precauções a adotar.

Esta informação deve ser de fácil compreensão e estar disponível em tempo real, devendo assim, ser explícita, concisa e estar bem visível. Deve-se também desenvolver campanhas de divulgação da prática, assim como, ações de sensibilização e esclarecimento, sobre o que é e quais as implicações referentes ao uso de águas residuais tratadas.

Assim, proporciona-se um aumento da compreensão pública e respetiva aceitação. Relativamente aos trabalhadores dos sistemas de produção de ApR e trabalhadores envolvidos na aplicação da mesma, deve-se desenvolver ações de formação sobre as questões de higiene e segurança a adotar, promovendo uma conduta profissional segura e minimizando/mitigando desta forma os riscos de contacto indevido.

Para fins de informação ao público e trabalhadores, recorreu-se à colocação de painéis informativos no ponto de entrega e aplicação, com informação relativa ao grau de qualidade da ApR de acordo com a Portaria nº 266/2019, como representado na Figura 8, abaixo apresentada.

Para conservar a água natural é usada In order to conserve water	 Água para Reutilização Water Reuse
Grau de qualidade Level of water quality	** - Médio (Medium)
Aplicação Use to	Enchimento de lago paisagístico
Precauções Pay attention	 Água imprópria para consumo Do not drink  Proibido nadar Do not swim
Cuidados Precautions	Lave as mãos após entrar em contacto Wash hands after contacting

Figura 8. Simbologia a utilizar quando a qualidade da ApR é de Classe B ou C (Portaria n.º 266/2019)

4.9. Análise de resultados

O projeto de reutilização de água respeitou a estrutura, proposta pelo Guia, que compreende duas fases principais. A primeira fase consistiu na avaliação do potencial de reutilização de água e a segunda na avaliação do risco associado à implementação do projeto.

Na avaliação do potencial de reutilização, determinou-se que a ETAR de São Miguel de Machede, sendo produtora de em média 200 m³ de ApR por dia, 80 m³ nos meses de Verão, apresenta capacidade para suprir os 15 000 m³/ano de água perdidos, por evaporação, na albufeira. Sendo expectável que os períodos de recarga possam ocorrer desde Maio até Setembro, e em anos excecionais repor a falta de precipitação, desde Janeiro até Setembro. Determinou-se também, que não existem obstáculos geográficos significativos no percurso entre o ponto de produção e o de entrega da ApR. A nível económico concluiu-se que os custos associados à produção e transporte da ApR, suportados pela LOGOWINES, S.A., são compensados pelo aumento de produção vinícola, que advém do aumento de disponibilidade

hídrica na albufeira. Determinando-se, deste modo, que o presente caso de estudo possui potencial de reutilização água.

Determinou-se ainda, que o efluente tratado respeita as normas de qualidade mínima, referentes às águas de classe C, para reutilização para rega agrícola e que as condições geográficas, entre o local de produção e de utilização, não constituem barreiras à viabilidade de execução do projeto.

A avaliação do risco dividiu-se em dois âmbitos, nomeadamente, avaliação do risco sobre a saúde e sobre os recursos hídricos.

Para ambos os âmbitos, foram identificados os perigos associados ao projeto e efetuada uma cenarização de exposição dos possíveis recetores. Posteriormente procedeu-se à caracterização do risco associado ao projeto e determinação das respetivas medidas de gestão para minimização e controlo do mesmo.

Para a avaliação do risco sobre a saúde, foi utilizado como padrão de perigo a *Escherichia coli* que é um microrganismo vulgarmente utilizado como indicador de contaminação microbiológica.

Como recetores, foram identificados os trabalhadores da vinha, envolvente (vizinhos), vegetação agrícola, vegetação paisagística, animais domésticos, selvagens e de pecuária. Como vias de exposição, considerou-se a ingestão, inalação e adsorção.

A nível de cenários de exposição, foram identificados os possíveis cenários de exposição afetos aos trabalhadores da vinha e envolvente (vizinhos). Nomeadamente, a ingestão da ApR, solo, vegetação agrícola e animais de pecuária.

Posteriormente, com base nos dados da literatura existentes, relativamente à ocorrência de doença decorrente do tipo de exposição, associaram-se fatores de importância à probabilidade de ocorrência de doença de acordo com as diferentes vias de exposição, agente contaminante e respetiva dose. Onde se determinou que a ingestão é a via de exposição que apresenta maior probabilidade de ocorrência de doença.

De acordo com a informação, anteriormente obtida, foram identificados, para o presente projeto, os tipos de barreiras a aplicar, assim como, respetiva redução microbiológica e número de barreiras equivalentes associados.

Após a determinação das barreiras a aplicar, foram identificados os possíveis eventos adversos a considerar e respetivas probabilidades de ocorrência.

Por fim, após determinados os perigos, vias de exposição, recetores, cenários de exposição, barreiras e eventos adversos, efetuou-se a caracterização do risco.

Na caracterização do risco, determinou-se que a ETAR de S. Miguel de Machede, sendo um Sistema de tratamento com tratamento secundário e desinfecção por cloragem, possui um perigo associado, de acordo com o Guia, de nível IV.

Após determinado o perigo, procedeu-se à determinação da vulnerabilidade de cada recetor. Obteve-se uma vulnerabilidade por recetor com valor 0,519.

Após a determinação da vulnerabilidade, procedeu-se à determinação do dano. Esta determinação foi realizada com base na probabilidade de falha das barreiras de segurança e severidade do dano associado, recorrendo a uma matriz de determinação do dano. Posteriormente, priorizou-se os resultados da matriz, através de uma escala empírica de importâncias, obtendo um dano com valor 0,68.

Estando determinado o perigo, vulnerabilidade por recetor e dano associado, procedeu-se ao cálculo do risco por recetor, obtendo um risco global de valor 2,47. De acordo com a classificação proposta pelo Guia, o risco global sobre a saúde é considerado como desprezável.

Na avaliação do risco sobre os recursos hídricos, foram identificados como principais perigos os nutrientes, azoto e fósforo, devido ao facto de potencializarem o fenómeno de eutrofização nos corpos de água.

Os recetores identificados, a nível hídrico, foram as águas superficiais e subterrâneas.

Como vias de exposição foram identificadas, como vias diretas, a rejeição, infiltração e deposição e como vias indiretas, a ressuspensão, lixiviação e percolação.

Os cenários de exposição considerados foram, as rejeições ou fugas que possam ocorrer na produção, distribuição, armazenamento e aplicação das ApR. Visto que, no presente projeto, as emissões não representam um cenário de exposição, devido ao facto de a ApR não entrar no estado gasoso em nenhuma fase do projeto.

Após a determinação das barreiras a implementar e identificação dos possíveis eventos adversos, procedeu-se à caracterização do risco, recorrendo a um processo similar à caracterização do risco sobre a saúde.

Na caracterização do risco sobre os recursos hídricos obteve-se um perigo de nível 5, para a vulnerabilidade global dos recursos hídricos um valor de 1,7, um dano associado com valor 0,4 e finalmente um risco sobre os recursos hídricos com valor 0,68. Como na caracterização do risco sobre a saúde, o risco é classificado, de acordo com a classificação do Guia, como desprezável.

5. Caso de estudo: Rega de espaços verdes

5.1. Enquadramento

Os espaços verdes assumem cada vez mais, uma maior importância ao nível da amenidade e melhoria das condições de vida nas zonas urbanas, partilhando também de uma crescente preocupação com o meio ambiente.

É de salientar que, segundo a APA, as últimas 4 décadas foram as mais quentes desde 1931, registando-se uma crescente diminuição da precipitação em cerca de 20 mm por década. Tais alterações ambientais resultam numa menor reposição dos volumes de água armazenados, tanto nas albufeiras como nas águas subterrâneas, representando cada vez mais uma crescente dificuldade em atingir o bom estado das massas de água.

Uma das medidas que se pode aplicar no combate à crescente escassez de água é a aposta na reutilização de água. Incrementando assim, a circularidade na utilização da água e o consequente aumento da eficiência hídrica. Uma vez que, a água reciclada contém altos níveis de nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das plantas e que a sua utilização diminui o consumo de água potável para rega, a reutilização de água na rega de espaços verdes demonstra-se benéfica tanto a nível ambiental como económico (Cordeiro, 2012)

O presente caso de estudo apresenta o processo preliminar de dimensionamento de uma linha adutora de água para reutilização, produzida na ETAR de Évora, para rega dos espaços verdes pertencentes à zona industrial de Évora e respetiva avaliação do risco do caso de estudo. O objetivo deste caso de estudo é o fornecimento adequado de água para proporcionar um bom estado de conservação dos espaços verdes, garantindo que desempenham as funções desejadas. De modo a que tais objetivos sejam cumpridos, deve-se fornecer a ApR em quantidade e pressão necessárias para o desempenho da função de rega.

5.2. Dimensionamento da linha adutora

De acordo com o Manual de Instalação de Rega (Cudell, 2000), o caudal de projeto é determinado em função do caudal disponível para regar sendo este condicionado pela entidade abastecedora e pelo tempo disponível para a rega. Assim, o caudal de projeto é a razão entre a necessidade hídrica de ponta (diária), em função da eficiência do emissor e o número de horas diárias de rega disponíveis.

A nível de caudal disponível para regar a ETAR de Évora possui condições de abastecimento que permitem, em termos de quantidade de ApR, o abastecimento para a rega dos espaços verdes do presente projeto. Não condicionando assim, o dimensionamento da linha adutora.

O presente caso de estudo, possui uma área total de rega de 37 377 m² com uma captação de rega de 3 litros/m²/dia e encontra-se subdividida em 7 áreas distintas, nomeadamente:

1. Área (286) - 20500 m²
2. Área (287 e 288) - 6800 m²
3. Área (290) - 770 m²
4. Área (174) - 6100 m²
5. Área (28) - 1680 m²
6. Área (173) - 12400 m²
7. Área (249) - 16400 m²

De modo a diminuir a taxa de evapotranspiração, assim como, o possível contacto entre a ApR e a população, o período de rega considerado foi das 2:00h até às 5:00h. Existindo assim 3h disponíveis para efetuar a rega dos espaços verdes.

Caudal necessário para a rega, assumindo 10% de perdas, seria de 41 m³/h. Contudo, o presente projeto pode, futuramente, vir a sofrer uma ampliação, como tal executou-se um sobredimensionamento assumindo assim um caudal de projeto de 45 m³/h.

Sendo a tubagem o conjunto dos tubos que terão como função o transporte da ApR, desde a origem (ETAR de Évora) até ao ponto de entrega (rede de rega), esta irá cobrir uma distância de 2250 m, será fixa e enterrada. O material de fabrico escolhido foi polietileno de alta densidade (PEAD).



Figura 9. Percurso da adutora desde o ponto de origem até ao ponto de entrega

O PEAD possui como vantagens a resistência às radiações solares, frio, golpes de aríete e abrasão, assim como possui alta flexibilidade e uma vida útil de aproximadamente 50 anos. Como desvantagens das tubagens PEAD destacam-se o peso e a condutibilidade hidráulica, que quando comparadas com as tubagens de PVC apresentam um peso superior e uma condutibilidade inferior (Cudell, 2000). Tais desvantagens não representam perante as características do presente projeto barreiras para o seu bom funcionamento.

Os tubos são de parede lisa com uma rugosidade absoluta de 0.02 e um coeficiente de Hazen-Williams $C=140$. O tipo de ligação será Electrossoldável, onde a união é feita por fusão utilizando uma resistência elétrica incorporada no acessório. Neste processo os tubos são ligados entre si através de uma união injetada em polietileno com uma resistência elétrica, é aplicada uma energia elétrica aos terminais do acessório, verifica-se o aquecimento necessário para fundir as paredes em contacto alcançando a necessária estanquidade (Cudell, 2000).

O dimensionamento da tubagem é realizado em função do caudal que circula nas tubagens com uma perda de carga aceitável a nível hidráulico e económico, onde a velocidade média de escoamento da ApR em pressão por bombagem deverá ser entre 0.6 m/s e 1.5 m/s (Cudell, 2000). Deste modo o dimensionamento foi desenvolvido para uma velocidade média de escoamento de 1m/s.

A determinação do diâmetro interno, viável para o projeto, foi efetuada segundo as expressões 1 e 2, abaixo apresentadas.

$$Q_{dim} = A_i \times V \quad (1)$$

e

$$D_i = \sqrt{4 \times Q_{dim} / \pi \times V} \quad (2)$$

Onde:

Q = caudal (m^3/s)

A_i = secção interna do tubo (m^2)

V = velocidade média da água (m/s)

D_i = diâmetro interno da tubagem (m)

Deste modo, através da aplicação direta das expressões acima apresentadas, foi obtida uma secção interna do tubo de $0.0125 m^2$ e um diâmetro interno de 126 mm. O diâmetro interno encontra-se dentro dos diâmetros comerciais de 125 mm e 140 mm, optando-se assim por uma tubagem PEAD com diâmetro interno de 140 mm uma vez que o projeto poderá vir a sofrer uma ampliação.

Como referido anteriormente, a ApR sofre perdas de carga ao longo do seu transporte. De modo a dimensionar corretamente o sistema é imperativo determinar tais perdas de carga. A perda de carga unitária (S), pode ser determinada por a fórmula de Hazen–Williams. Uma vez que, as

tubagens têm diâmetro constante, a perda de carga é considerada como contínua ao longo destes. Neste sentido, a perda de carga contínua (H) é o produto de S pelo comprimento (L) do tubo. Recorrendo à fórmula de Hazen-Williams, abaixo apresentada na expressão 3, sabendo que o comprimento de tubagens necessário é de 2250 m, obteve-se uma perda de carga contínua de 11.13m.

$$H = 10.643 \times Q^{1.85} \times C^{-1.85} \times Di^{-4.87} \times L \quad (3)$$

Onde:

H = perda de carga contínua (m)

Q = caudal (m³/s)

C = coeficiente de Hazen-Williams

Di = diâmetro interno da tubagem (m)

L = Comprimento da tubagem (m)

O dimensionamento dos acessórios de ligação é realizado em função do diâmetro dos tubos, uma vez que, o diâmetro será o mesmo para os acessórios.

As perdas de carga dos acessórios (hs) são perdas de carga localizadas. Uma vez que, existe um elevado número de acessórios, é atribuída uma percentagem de 20% do valor de H, obtendo-se assim uma perda de carga pontual (hs) de 2.23 m.

Assim, a perda de carga total é obtida através do somatório entre a perda de carga contínua total (Ht) e respetivas perdas de carga localizadas totais. Deste modo, foi obtida uma perda de carga total do sistema de 13.36m.

Segundo Cudell (2000), o dimensionamento de uma bomba ou de um grupo de bombagem é efetuado a partir do caudal de projeto e da pressão, ou seja, altura manométrica total.

De modo a obter a altura manométrica total recorre-se ao somatório da altura de aspiração (diferença entre a superfície livre da água e o eixo da bomba), altura de elevação (diferença de cota entre a cota do eixo da bomba e a cota mais desfavorável) e perda de carga total do sistema de rega (Ht), obtendo deste modo uma altura manométrica total de 26.46 m. c. a.. A pressão da água e as perdas de cargas apresentam-se expressas em metros de coluna de água (m. c. a.), onde, 10 m. c. a. correspondem a 1 kg/cm².

Assim, a bomba a utilizar será a mais eficiente para um caudal de 45 m³/h e pressão de 26.46 m. c. a..

De modo a impedir o retorno da ApR para a linha adutora e estação de bombagem, serão implementadas duas válvulas de retenção no início da linha adutora e ponto de entrega, onde existe a ligação à rede de rega da zona industrial. Atenuando, deste modo, a possibilidade de

ocorrência de golpes de aríete. Será ainda instalada uma válvula de seccionamento entre a estação de bombagem e a linha adutora.

5.3. Avaliação do risco

5.3.1. Avaliação do risco sobre a saúde

5.3.1.1. Identificação dos perigos

Como mencionado anteriormente, no subcapítulo 4.4.1.1, os perigos associados à reutilização de água, distinguem-se essencialmente como químicos e microbiológicos com potencial para provocar danos na saúde pública e no ambiente em geral.

Deste modo, a *Escherichia coli*. foi novamente utilizada como indicador de contaminação microbiológica.

5.3.1.2. Identificação dos recetores e vias de exposição

Neste projeto, foram considerados como possíveis recetores, para além do ser humano, os animais domésticos e vegetação paisagística.

Segundo o Guia, as vias de exposição a considerar são a ingestão, inalação e adsorção. Foram ainda avaliadas, as vias diretas (contacto direto com microrganismos eventualmente presentes na ApR) e indiretas (contacto indireto com microrganismos eventualmente presentes na ApR).

Como demonstrado na Tabela 37, acima exposta, tanto para o ser humano como para os animais domésticos, a ingestão, inalação e adsorção representam possíveis vias de exposição.

Tabela 37: Identificação de vias de exposição diretas por recetor.

Vias de exposição	Recetores		
	Ser Humano	Animais domésticos	Vegetação paisagística
Ingestão	X	X	
Inalação	X	X	
Adsorção	X	X	X

A ingestão é considerada, devido à possibilidade de ocorrer ingestão da ApR, tanto por ignorância como por negligência, no caso do ser humano. A ingestão, no caso dos animais domésticos, representa uma via de exposição com elevada probabilidade de ocorrência.

A inalação representa uma via de exposição com considerável relevância, sendo que os sistemas de rega são maioritariamente de rega por aspersão. O que resulta na libertação de micropartículas de ApR que podem ser inaladas tanto pelo ser humano como por os animais domésticos presentes nas áreas de rega ou imediações.

A adsorção representa uma via de exposição através do contacto direto ou indireto, por parte dos recetores, com a ApR.

Uma vez cruzadas as vias de exposição com os recetores, foram avaliadas as vias de exposição ao ser humano, na eventualidade de os animais domésticos atuarem como vetores ao ser humano, como demonstrado na Tabela 38.

Tabela 38: Identificação de vias de exposição diretas e indiretas para os seres humanos através de outros recetores.

Outros recetores	Ser humano
Animais domésticos	Ingestão direta, adsorção indireta, inalação indireta
Vegetação paisagística	Adsorção Indireta

5.3.1.3. Relação entre dose de agente contaminante e probabilidade de ocorrência de doença

A relação entre a dose de agente contaminante e a probabilidade de ocorrência de doença, definida na Tabela 12, anteriormente apresentada no subcapítulo 4.4.1.4.2, é representativa de ambos os casos de estudo.

5.3.1.4. Barreiras/medidas de prevenção

As barreiras utilizadas no presente caso de estudo, assim como, os respetivos tipos de aplicação, reduções microbiológicas associadas e número de barreiras equivalentes, encontram-se abaixo identificadas na Tabela 39.

Tabela 39: Tipo de barreiras e correspondência com o número de barreiras equivalentes.

Tipo de barreira	Aplicação	Redução microbiológica (unidades Log₁₀)	N.º de barreiras equivalentes
Tratamento secundário	Sistema de tratamento	1 a 3	1
Desinfecção por radiação UV	Sistema de tratamento	2 a >6	1 a 3
Controlo de acesso a áreas regadas	Proibição de pastagem de gado leiteiro em culturas húmidas	0,5 a 1	1
	Espaço interdito à passagem pública	0,5 a 1	1
	Horários de rega fora das horas de uso dos espaços	0,5 a 1	1
Sinalização	Sinalização informativa de água para uso não potável	0	1
Sistema de deteção de fugas +Capacidade de retenção total	Retenção total do efluente da ETAR em caso de falha do sistema de tratamento	—	2

5.3.1.5. Identificação de eventos adversos

A identificação dos possíveis eventos adversos e respetivo relacionamento com os vários descritores de probabilidade de ocorrência, encontram-se apresentados na Tabela 15 do subcapítulo 4.4.1.6.2.

5.3.1.6. Caracterização do risco sobre a saúde

No presente caso de estudo, foi novamente considerado como perigo a presença de microrganismos patogénicos *E. coli* na ApR, da ETAR de Évora. A presença de *E. coli* encontra-se definida em cinco graus de perigo de acordo com o sistema de tratamento, conforme descrito anteriormente na Tabela 16, subcapítulo 4.4.1.7.

A ETAR de Évora consiste num sistema de tratamento que inclui, tratamento secundário e desinfecção por radiação UV, como tal, o perigo associado é de nível IV, obtendo assim um fator de importância 7.

Após a determinação do perigo, foi determinada a vulnerabilidade de cada recetor (Vrecetor), obtida a partir da expressão (1), normalizada à situação mais crítica, anteriormente apresentada no subcapítulo 4.4.1.7.

Procedeu-se à atribuição de fatores de importância para as diferentes vias de exposição, em conformidade com a constatação dos diferentes graus de risco, conforme descrito abaixo na Tabela 40.

Tabela 40: Fatores de importância associados às vias de exposição afetas ao ser humano

Via de exposição	Fator de importância (fi)	Observações
Ingestão	9	Via de infecção demonstrada com importância absoluta
Adsorção	5	Eventual via de infecção (possíveis casos de contaminação)
Inalação	7	Potencial ocorrência de doença

Seguidamente, foram atribuídos fatores de importância a cada cenário de exposição anteriormente determinado, conforme descrito na Tabela 41, abaixo apresentada.

Tabela 41: Vulnerabilidades associadas aos cenários de exposição afetos ao ser humano.

Recetor	Cenário de exposição	Fator de importância (fi)	Observações
Ser humano	Ingestão da ApR	9	Via de infecção demonstrada
	Ingestão de ApR através de interação com animais domésticos expostos à ApR	5	Eventual via de infecção (possíveis casos de contaminação)
	Inalação direta de micropartículas da ApR	7	Potencial via de infecção
	Inalação indireta de micropartículas de ApR através de interação com animais domésticos expostos à ApR	5	Eventual via de infecção (possíveis casos de contaminação)
	Contacto com a ApR (adsorção dérmica)	5	Eventual via de infecção (possíveis casos de contaminação)
	Contacto com plantas, solo ou animais contaminados (adsorção dérmica)	5	Eventual via de infecção (possíveis casos de contaminação)
Vulnerabilidade por recetor		0.6878	

O valor do dano parcial (di), dentro de cada célula, foi novamente obtido através da expressão (3) e Figura 2, anteriormente apresentadas no subcapítulo 4.4.1.7.

Após determinar os danos parciais (d_i) recorrendo à priorização com base na escala de importâncias, apresentadas anteriormente na Tabela 19, procedeu-se à determinação do dano associado à totalidade das barreiras, recorrendo à expressão (4).

Na Tabela 42, abaixo apresentada, encontram-se descritos os resultados dos danos parciais e dano total, assim como, os tipos de barreira, número de barreiras equivalentes e respetivos fatores de importância associados.

Tabela 42: Barreiras equivalentes e dano associado

Tipo de barreira	Nº de barreiras equivalente	f_i	d_i
Tratamento secundário	1	6	6
Desinfecção por radiação UV	2	6	12
Controlo de acesso a áreas regadas	3	4	12
Sinalização	1	5	5
Sistema de deteção de fugas + capacidade de retenção total	2	2	4
		Dano	0.98

O risco por recetor, como anteriormente demonstrado, foi determinado com recurso à expressão (5). Deste modo foi obtido um risco de 4.69 para o ser humano.

Como neste caso de estudo só existe um recetor global, sendo este o ser humano, o risco global para a saúde é de 4.69, sendo deste modo classificado com nível de risco aceitável.

5.3.2. Avaliação do risco sobre os recursos hídricos

5.3.2.1. Identificação dos perigos sobre os recursos hídricos

Como referido anteriormente, no subcapítulo 4.4.2.1, os nutrientes azoto e fósforo, são considerados como principais perigos. Esta consideração advém do facto de as suas características, em particular, potencializarem o fenómeno de eutrofização nos corpos de água.

5.3.2.2. Identificação de recetores, vias de exposição, cenários de exposição e barreiras

Os recetores a considerar, como explicitado anteriormente no subcapítulo 4.4.2.2, são as águas superficiais e subterrâneas.

As vias de exposição, a considerar, subdividem-se em vias diretas e indiretas. Sendo a rejeição, infiltração e deposição, consideradas como vias diretas de exposição e a ressuspensão, lixiviação e percolação, consideradas como vias indiretas (Rebello, 2014), como representado na Figura 3, apresentada no subcapítulo 4.4.2.2.

Os cenários de exposição a considerar são, emissões, rejeições ou fugas que resultem da produção, distribuição, armazenamento e aplicação da ApR. É de evidenciar que, à semelhança do primeiro caso de estudo, o efluente tratado da ETAR de Évora é descarregado num curso de água existente na periferia da mesma. A ETAR de Évora possui licença de descarga de efluente tratado, respeitando os parâmetros exigidos por lei.

Assim como no caso de estudo anterior, de acordo com as características do projeto, não existe a necessidade de aplicação de barreiras.

Contudo, as barreiras implementadas são:

- Sistema de deteção de fugas (caudalímetro);
- Capacidade de retenção total.

5.3.2.3. Identificação de eventos adversos

Como descrito anteriormente, os eventos adversos são eventos relacionados com falhas no sistema de tratamento e barreiras aplicadas, que conduzam a um não cumprimento das normas de qualidade mínima.

Na Tabela 43, apresentam-se os eventos adversos passíveis de ocorrer, assim como, as respetivas probabilidades de ocorrência associadas.

Tabela 43: Probabilidades de ocorrência associadas aos eventos adversos (adaptado do Guia para Reutilização de Água da APA).

Eventos adversos	Descritor de probabilidade
Falhas no sistema de tratamento originando incumprimento das normas de qualidade mínima	Possível
Contaminação externa ao sistema de tratamento (sistema de distribuição ou local de armazenamento)	Pouco provável
Ruturas ou fugas nas tubagens	Pouco provável

Assim como no caso de estudo anterior, a identificação dos eventos adversos pode e deve ser ajustada, mediante as alterações que ocorram no projeto.

5.3.2.4. Caracterização do risco

Assim como no caso de estudo anterior, recorreu-se novamente à metodologia semi-quantitativa.

Os níveis de perigo a considerar encontram-se descritos na Tabela 22, apresentada anteriormente no subcapítulo 4.4.2.4. Derivado à sensibilidade do projeto e para efeitos de segurança e fiabilidade da avaliação do risco, considerando que abrange uma área considerável, com elevado povoamento e de difícil monitorização, foi realizada uma cenarização para o pior caso possível. Deste modo, considerando as características do presente caso de estudo, o perigo foi classificado com nível V e importância 9.

O cálculo da vulnerabilidade dos recursos hídricos, foi desenvolvido através da conjugação da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos com os respetivos cenários de exposição e número de barreiras aplicadas. Neste sentido, recorreu-se novamente à matriz de avaliação do risco para as águas superficiais e subterrâneas, apresentada na Figura 4 do subcapítulo 4.4.2.4, em função das respetivas características hidrogeológicas. Obtendo, deste modo, as vulnerabilidades parciais para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Para o cálculo da vulnerabilidade das águas subterrâneas, foi identificada a presença de aquíferos e tipo de camada protetora, assim como, a taxa de infiltração correspondente ao local de desenvolvimento do caso de estudo. A nível de sistemas aquíferos, o sistema presente na região de Évora é o sistema aquífero dos gnaisses, sendo constituído por rochas gnáissicas desde a zona de Évora até à zona do eixo Torre de Coelheiros (São Manços), estendendo-se alguns quilómetros no sentido oeste, possuindo uma área total de 136 km², pertencendo ao sistema das formações cristalinas do Alentejo, como abaixo representado na Figura 10.

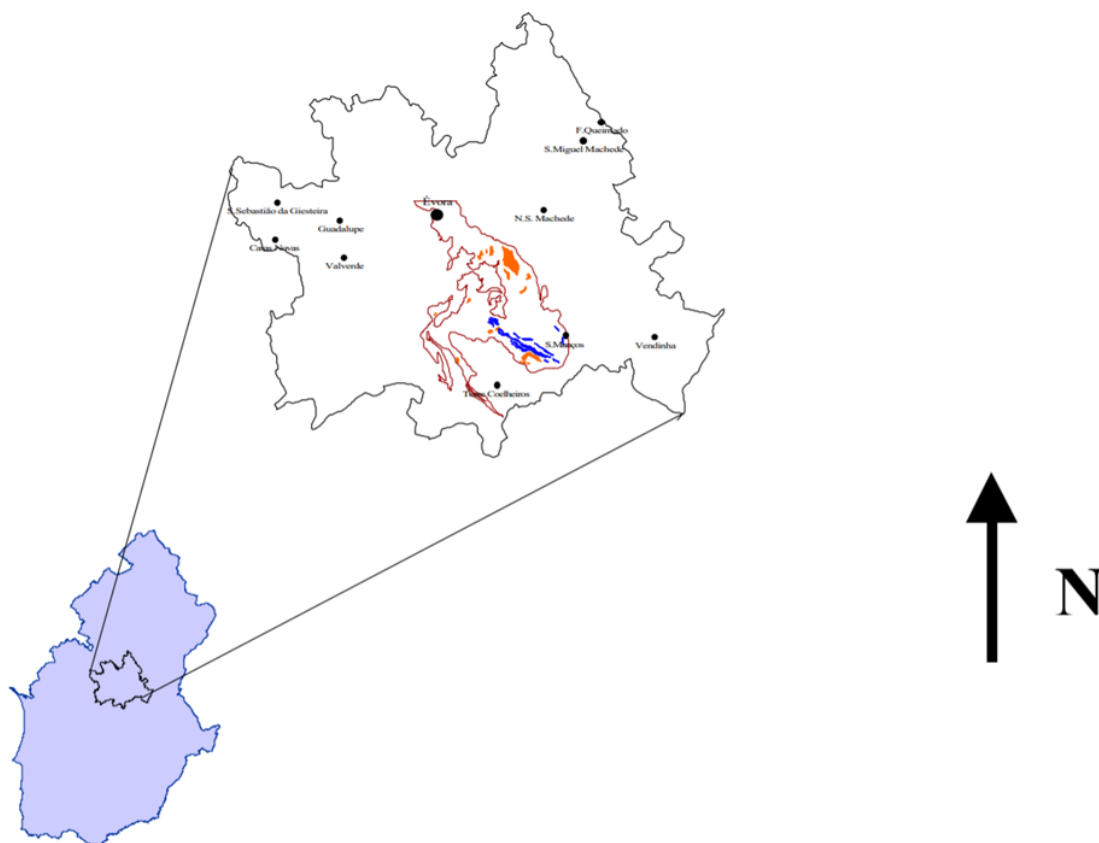


Figura 10. Enquadramento hidrogeológico da área em estudo

O sistema aquífero possui uma camada superficial argilosa, seguida por uma camada porosa com circulação intergranular entre 15 a 20 m de espessura, possuindo blocos dispersos e bem compactos resultantes da resistência distinta de acordo com a alteração em profundidade. É um sistema constituído por três meios com características hidráulicas distintas, sendo que a camada superior possui um comportamento de meio poroso, a camada intermédia apresenta porosidade dupla e a camada inferior prevê-se como um meio puramente fraturado. De acordo com um estudo realizado no Monte da Lagoa, foram determinados valores de transmissividade de 150 m²/dia (Fialho, 1998).

Assim, mediante as evidências acima apresentadas, é possível determinar que a zona de aplicação do projeto em estudo possui um sistema aquífero com camada protetora de argila significativa e baixa infiltração, a baixa capacidade de infiltração é consequência direta da existência da camada superficial de argila (Paz, 2010), adotando assim, um risco de nível 2 para as águas subterrâneas, segundo a interpretação direta da matriz de avaliação do risco para as águas superficiais e subterrâneas.

A nível do risco para as águas superficiais considera-se a existência de baixa escorrência superficial, culminando num nível de risco 4, segundo a interpretação direta da matriz de avaliação do risco.

Como descrito anteriormente, a vulnerabilidade global dos recursos hídricos (V_G) calcula-se recorrendo, primeiramente, à expressão (7), apresentada no subcapítulo 4.4.2.4, para determinar a vulnerabilidade dos recursos hídricos (V_{RH}). Deste modo, os valores determinados foram:

- Vulnerabilidade parcial dos recursos hídricos subterrâneos: 2
- Vulnerabilidade parcial dos recursos hídricos superficiais: 4
- Vulnerabilidade dos recursos hídricos: 3,3

Através da interpretação da Tabela 18 (subcapítulo 4.4.2.4) é possível verificar que o fator de importância associado, à vulnerabilidade dos recursos hídricos obtida neste projeto, é de valor três.

De acordo com a Tabela 23 (subcapítulo 4.4.2.4) as barreiras aplicadas neste projeto, que são a capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas, sistema de deteção de fugas (caudalímetro) e capacidade de retenção total, adotam fatores de importância 5, 7 e 3, respetivamente.

Relativamente aos cenários de exposição, como referido anteriormente, considerou-se que seriam todo o tipo de exposição proveniente das várias fases do sistema, respetivamente, emissões, rejeições ou fugas nas fases de produção, distribuição, armazenamento ou aplicação.

Como descrito anteriormente, é possível aplicar a cada via de exposição uma ou duas barreiras, que se traduzem no número total de cenários que poderão estar presentes, como descrito na Tabela 44, abaixo apresentada.

Tabela 44: Barreiras implementadas e respetivo número de cenários de exposição associado.

Barreiras		Nº de cenários de exposição (n_{cen})
Vias de exposição	Ausência de barreiras	1
	Sistema de deteção de fugas	1
	Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	1
	Capacidade de retenção total	1
	Sistema de deteção de fugas + Capacidade de retenção total	2
	n_{cen} total	3

Através da aplicação da equação (8), anteriormente apresentada no subcapítulo 4.4.2.4, foi obtida uma vulnerabilidade global dos recursos hídricos com valor 1,67.

Após determinar o perigo e vulnerabilidade global associados aos recursos hídricos, procedeu-se à determinação da probabilidade de falha das barreiras e respetiva severidade dos danos

associados, por forma a calcular o risco para os recursos hídricos. Para a determinação da probabilidade de falha das barreiras, recorreu-se à Tabela 26 (subcapítulo 4.4.2.4) onde estão identificados os descritores de probabilidade, respetivas observações e os valores associados a cada descritor de probabilidade.

Deste modo, a probabilidade de ocorrência de exposição foi determinada como provável, obtendo assim um valor associado de 3. Com recurso à Tabela 27 (subcapítulo 4.4.2.4) classificou-se a severidade dos possíveis danos como moderada, uma vez que a ApR se encontra em bom estado.

O dano associado às vias e cenários de exposição considerados, foi determinado através da interpretação direta da matriz de determinação do dano, representada na Figura 6 (subcapítulo 4.4.2.4). Deste modo, o dano total foi calculado com recurso à expressão (4), anteriormente apresentada no subcapítulo 4.4.1.7.

Uma vez calculado o perigo, vulnerabilidade global e obtidos todos os parâmetros, representados abaixo na Tabela 45, é possível calcular o risco para os recursos hídricos (R_{RH}), através da expressão (9).

Tabela 45: Dano associado aos recursos hídricos.

Barreira	Probabilidade de ocorrência de exposição	Severidade dos danos	Dano (di)	Nº de cenários de exposição (n cen)
Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	3	3	4	1
Sistema de deteção de fugas +Capacidade de retenção total	3	3	4	2
Dano total			0,4	

Deste modo, o **risco para os recursos hídricos**, implicado na implementação do projeto, adota o valor de **0,68**. De acordo com a classificação, apresentada no subcapítulo 4.4.1.7, o risco para os recursos hídricos é classificado como desprezável.

5.3.3. Análise de resultados

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que o projeto de reutilização de água para rega dos espaços verdes da zona industrial de Évora, possui potencial para a sua implementação. Com a correta aplicação de todas as barreiras determinadas neste documento, conclui-se ainda que o presente projeto representa um risco aceitável para com a comunidade em geral e desprezável para os recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

É de evidenciar que, para a implementação do projeto, deve existir uma monitorização constante da qualidade do efluente tratado e devem ser aplicados os métodos de comunicação do risco discutidos no caso de estudo anterior. Deste modo, é possível controlar o risco para a saúde e recursos hídricos, contribuindo para o sucesso do projeto e promoção de tomadas de iniciativa para projetos semelhantes.

6. Considerações finais

A reutilização de água constitui uma opção ambientalmente sustentável e competitiva do ponto de vista económico para ajudar a aumentar a disponibilidade de água. Assim como, representa uma medida viável de mitigação das alterações climáticas. No entanto, a sua implementação e operação em escala real enfrenta vários desafios, nomeadamente, riscos relacionados com a caracterização química e microbiológica das águas e respetivos potenciais danos para a saúde pública e ambiente.

Deste modo, com o presente trabalho pretendeu-se fazer uma aplicação prática do Guia para Reutilização de Água - Usos Não Potáveis – APA aos casos de estudo de utilização do efluente tratado, da ETAR de São Miguel de Machede e ETAR de Évora.

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que ambos os projetos, de utilização do efluente tratado da ETAR de São Miguel de Machede e ETAR de Évora, possuem potencial para a sua implementação. Concluindo ainda, que não representam riscos significativos para a comunidade, assim como, para o ambiente em geral.

Relativamente à aplicação do Guia, a nível da metodologia de avaliação do risco sobre a saúde, existem algumas observações a salientar no presente documento, nomeadamente:

- Na determinação do dano, a determinação da severidade e probabilidade consiste numa escolha subjetiva, do técnico que está a realizar o exercício, diminuindo assim, a objetividade do exercício. É necessário descrever de forma robusta e objetiva as diferentes escalas de severidade e de probabilidade.

A nível da metodologia de avaliação do risco sobre os recursos hídricos, existem também algumas incoerências, nomeadamente:

- As barreiras consideradas para proteção dos recursos hídricos (Tabela 17, Guia APA) são limitadas às previstas para o sistema de aplicação e não contemplam todas as que poderão ser “instaladas” ao longo de todo o esquema de reutilização;
- A escala de severidade para o cálculo do dano parcial reflete a vulnerabilidade do meio recetor e não a severidade do perigo em análise associado ao evento perigoso que lhe poderá dar origem.

7. Referências Bibliográficas

- Abreu, D. (2018) - A Economia Circular na visão estratégica de uma empresa portuguesa – Tese de Mestrado, Repositório Científico Lusófona.
- Afonso, M. (2006) Planeamento dos Recursos Hídricos e Ordenamento do Território em São Tomé e Príncipe - Região Autónoma do Príncipe.
- Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, B.M. (2017) Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a water reuse regulatory instrument at EU level, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J., (2000) Sistemas Aquíferos de Portugal Continental - Maciço Antigo.
- Angelakis, A., Asano, T., Bahri, A., Jiménez, B., Tchobanoglous, G. (2018) - Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future, Front. Environ. Sci., May 2018, vol 6 article 26 | <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente - Água para Reutilização – usos não potáveis Nova abordagem - Conferência “Água – Novas Abordagens”, 2019.
- APA - Agência Portuguesa do Ambiente - Guia para a Reutilização de Água - para usos não potáveis, 2018.
- Asano, T., AECOM Company Metcalf & Eddy, Inc., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G.- Water Reuse - Issues, Technologies and Applications, 2007.
- Baptista, J. (2018) Oportunidades para a economia circular nos serviços de águas. Revista INGeNIUM, N.º 162 - Edição Março/Abril, Ordem dos Engenheiros, Economia Circular.
- Batalha, A. (2012) Projeto Individual - Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos - João Vaz das Neves, Lda.- Pós-Graduação em Segurança e Higiene no Trabalho – Instituto Politécnico de Setúbal.
- Brondani, G. (2015) Identificação das fontes de contaminação fecal nas águas superficiais do Rio Tejo.
- Biswas, T., Bourne, J., McCarthy, M., Rengasamy, P. - Water&Wine - managing the challenge - MODULE 03 - Sustainable salinity management in your vineyard, 2008. <https://www.wineaustralia.com/getmedia/c234c7aa-d411-4176-8344-62657bc97fc8/Salinity-management-notes.pdf>. Consultado em 2019-03-12 12:50.
- Catarino, A. (2018) - Reutilização de águas residuais tratadas para rega paisagística - O caso de estudo do Parque Tejo - Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.

Chalmers, Y. Water&Wine - managing the challenge - MODULE 05 – Insights into the relationships between yield and water in wine grapes, 2008. <https://www.wineaustralia.com/getmedia/13eb7a95-cbe2-4b47-a15e-50a8fc4427b9/Yield-and-water-fact-sheet.pdf>. Consultado em 2019-03-12 13:00.

Chhipi-Shrestha, G., Hewage, K. and Sadiq, R. (2017) Microbial quality of reclaimed water for urban reuses: Probabilistic risk-based investigation and recommendations. *Science of the Total Environment* 576, 738-751.

Constituição da República Portuguesa - Decreto-Lei n.º 152/97 - Tratamento de águas residuais urbanas. 1997.

Cordeiro (2012) Estudo da Reutilização de uma Água Residual Tratada na Rega Paisagística - Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.

Corry (2004) Common Intestinal Parasites – Naval Hospital Jacksonville, Jacksonville, Florida.

Cudell, G. (2000) Manual de Instalação de Rega – Manual de formação – Espaços Verdes.

Decreto-Lei nº 119/2019 - Diário da República n.º 159/2019, Série I de 2019-08-21

DGAE - Economia circular - <https://www.dgae.gov.pt/servicos/sustentabilidade/empresarial/economia-circular.aspx>. Consultado em 2020-08-01 23:50.

Directiva 96/82/CE do Conselho Europeu, de 9 de Dezembro de 1996 relativa ao controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias perigosas.

Division of Toxicology and Human Health Sciences (2012) Public Health Statement Vanadium – Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Duarte, M. (2008) Os Fluoretos na água de consumo humano – Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo, IP Sub-Região Saúde de Setúbal.

European Commission (2017) - Directive 91/271/EEC on Urban Waste Water Treatment

Fialho, A., Chambel, A., Duque, J. (1998) — Sistema aquífero dos gnaisses de Évora — <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/125.pdf>. Consultado em 2019-03-23 10:45.

Gonçalves, R. (2009) Metodologia para acreditação dos métodos de análise de sólidos suspensos e dissolvidos em águas – Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, I.P.

International Organization for Standardization (2015) ISO 16075-1:2015 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2015) ISO 16075-2:2015 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 2: Development of the project, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2015) ISO 16075-3:2015 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 3: Components of a reuse project for irrigation, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2015) ISO 16075-4:2016 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 4: Monitoring, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2017) ISO 20760-2:2017 – Water reuse in urban areas – Guidelines for centralized water reuse system – Part 2: Management of a centralized water reuse system, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2017) ISO 20761:2018 – Water reuse in urban areas – Guidelines for water reuse safety evaluation -- Assessment parameters and methods, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2017) ISO 20469:2018 – Guidelines for water quality grade classification for water reuse, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2018) ISO 20426:2018 – Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse, International Organization for Standardization, Geneva.

International Organization for Standardization (2018) ISO 20760-1:2018 – Water reuse in urban areas – Guidelines for centralized water reuse system – Part 1: Design principle of a centralized water reuse system, International Organization for Standardization, Geneva.

Ishizaka, A. and Lusti, M. (2006) How to derive priorities in AHP: A comparative study. Central European Journal of Operations Research 14(4), 387-400.

IWA - International Water Association – Wastewater report 2018 – The reuse opportunity.

Yermiyahu, U., Ben-Gal, A. - Journal of Horticultural Science & Biotechnology (2007) – Boron toxicity in grapevine (*Vitis vinifera* L.) in conjunction with salinity and rootstock effects. https://www.researchgate.net/publication/233794635_Boron_toxicity_in_grapevine_Vitis_vinifera_L_in_conjunction_with_salinity_and_rootstock_effects. Consultado em 2019-03-12 13:15

Mariano, J. (2014) Adutoras Puras e Mistas – Análise Técnico-económica - Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Martins, N., (2017) Acompanhamento farmacoterapêutico de usuários de carbonato de lítio cadastrados no programa de saúde mental – *Revista Portuguesa de Enfermagem de Saúde Mental* [online]. 2017, n.17, pp.9-16. ISSN 1647-2160 – <http://dx.doi.org/10.19131/rpesm.0178>. Consultado em 2019-02-28 10:15.

Matos, A. (2008) Água destinada ao consumo humano: riscos para a saúde humana resultantes da exposição a ferro – Departamento de Saúde Pública.

Mendonça, A. (2013) - Métodos de Avaliação de Riscos - Contributo Para a Sua Aplicabilidade no Setor da Construção Civil - Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Monteiro, J. (2017) Oligoelementos na nutrição humana – Instituto Superior de Ciências da Saúde Egas Moniz.

NRC - National Research Council, (2012) - Understanding Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater - Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13514>. Consultado em 2019-06-02 14:45

Paz, V. (2010) Infiltração da Água no Solo — Universidade Federal do Recôncavo da Bahia Centro de Ciência Agrárias, Ambientais e Biológicas, Núcleo de Engenharia de Água e Solo.

Portaria nº 266/2019 - Diário da República n.º 162/2019, Série I de 2019-08-26

Rebelo, A. (2018) Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água. In Atas do 14º Congresso da Água, Évora.

Recycle Reminders — Reclaimed Water Tags: Sustainability with Caution — <https://www.recyclereminders.com/blog/reclaimed-water-tags-caution-local-laws/>. Consultado em 2019-04-03 15:30

Rosalino, M. (2011) Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano - Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil Sanitária – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Sá Ribeiro, L. (2009) Tolerância à salinidade em videiras petite syrah enxertada sobre diferentes porta-enxertos — Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro — campos dos Goytacazes.

Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. and Zahoor, A. 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, Vol. 130.

SNIRH, (2020) - Distribuição dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental — <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=4&idItem=3&idSubtem=link4a>. Consultado em 2019-03-03 17:30.

Sousa, E. (2001) Saneamento Ambiental I – Sistemas de adução – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.

UKEssays (2018) - The Importance Of Water Recycling Environmental Sciences Essay. - <https://www.ukessays.com/essays/environmental-sciences/the-importance-of-water-recycling-environmental-sciences-essay.php?vref=1>. Consultado em 2019-06-02 12:30

Vyskocil, A., Viau, C. (1999) Assessment of Molybdenum Toxicity in Humans – Journal of Applied Toxicology 19, 185–192.

ANEXOS

Anexo I

Listagem de elementos a apresentar com os requerimentos para obtenção de licença de produção e utilização de ApR

1. Os pedidos de emissão de licença de produção de ApR são instruídos com os seguintes elementos:

- a) Identificação do utilizador e indicação do seu número de identificação fiscal;
- b) Identificação da licença de rejeição de águas residuais;
- c) Identificação das finalidades de produção de ApR e respetivos volumes a produzir/utilizar internamente (diários e anuais);
- d) Avaliação do risco, realizada nos termos previstos no artigo 6.º do presente decreto-lei;
- e) Indicação dos locais de armazenamento e de entrega, com recurso à indicação das coordenadas geográficas;
- f) Programa de monitorização;
- g) Elementos adicionais quando ocorra uso interno de ApR;
- h) Finalidade da utilização de ApR;
- i) Procedimentos para a manutenção ou afinação da qualidade da água, se aplicável;
- j) Tipo de barreiras a adotar considerando as utilizações em causa;
- k) Indicação exata dos locais de armazenamento, com recurso às coordenadas geográficas, se diferentes das previstas na alínea e);
- l) Indicação das parcelas, locais ou equipamentos onde serão aplicadas as ApR, com recurso à identificação cartográfica nos casos aplicáveis;
- m) Programa de monitorização no meio recetor, se aplicável.

2. Os pedidos de emissão de licença de utilização de ApR são instruídos com os seguintes elementos:

- a) Identificação do utilizador e indicação do seu número de identificação fiscal;
- b) Identificação da licença de produção de ApR;
- c) Finalidade da utilização de ApR;
- d) Avaliação do risco para determinar, face à qualidade da água disponível no ponto de entrega, os procedimentos a adotar para a manutenção ou afinação da qualidade da água e o tipo de barreiras a implementar considerando as utilizações em causa;
- e) Indicação exata dos locais de armazenamento e de receção, com recurso às coordenadas geográficas;
- f) Indicação das parcelas ou locais onde serão aplicadas as ApR, com recurso à identificação cartográfica;
- g) Programa de monitorização.

Anexo II

Árvore de decisão para definição de pontos críticos de controlo num sistema de reutilização (adaptado do Guia para Reutilização da APA e de I. Alcalde-sanz and Gawlik, 2017)

