



Tratamento de efluentes agroindustriais recorrendo à vermifiltração: controlo e monitorização de unidade piloto BioSS4WT

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Lídia Maria Gonçalves Pereira

Leiria, novembro de 2020



Tratamento de efluentes agroindustriais recorrendo à vermifiltração: controlo e monitorização de unidade piloto BioSS4WT

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Lídia Maria Gonçalves Pereira

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação da Professora Doutora Judite dos Santos Vieira e do Professor Doutor Luís Miguel Igreja Aires

Leiria, novembro de 2020

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionada a Autora e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, nos anos letivos 2017/2020, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Agradecimentos

Este trabalho foi suportado por: Laboratório Associado LSRE-LCM - UID/EQU/50020/2019 - financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC)

Quero agradecer à Professora Doutora Judite dos Santos Vieira e ao Professor Doutor Luís Miguel Igreja Aires, meus orientadores, pelo encorajamento e pelas sucessivas opiniões e discussões construtivas e por me proporcionarem a oportunidade de trabalhar neste projeto sob sua supervisão.

Quero também agradecer ao Professor Doutor Kirill Ispolnov pela ajuda no sistema hidropónico, à Professora Doutora Daniela Maria Barroso de Moura Cipreste Vaz e à Professora Doutora Vânia Sofia Santos Ribeiro pela disponibilidade de realização dos testes de toxicidade aos extratos de plantas usadas no estudo.

Aos Técnicos Maria Carlos Loureiro David Rodrigues e André João Felizardo dos Reis da Fonseca pelo apoio e suporte técnico nos laboratórios de análises, química e instrumental e microbiologia, respetivamente. E também às estagiárias que me acompanharam na realização deste trabalho pela sua cooperação na realização de alguns dos testes.

Quero agradecer aos meus amigos e colegas de curso que apesar da distância sempre se manteve a companhia e amizade, em especial à Joana Morgado e ao Artur Costeira que me acompanharam e ouviram quando mais precisava apoiando e motivando sempre.

À minha amiga Patrícia Lourenço que me acompanhou numa das fases mais difíceis que já tive ouvindo-me e apoiando-me quando mais precisei.

Por último, um muito especial agradecimento aos meus pais Armando e Graciete e aos meus irmãos Patrick e Eduardo e à minha cunhada Jessica, muito obrigado pelo suporte, motivação e encorajamento incondicional.

Resumo

Algumas regiões em Portugal, mais em particular no concelho de Leiria, apresentam um elevado número de explorações suinícolas concentradas numa pequena área geográfica, às quais está associado um impacto ambiental negativo no meio ambiente, devido à elevada carga poluente gerada e à ausência de sistemas de tratamento adequados, principalmente no que se refere a tratamentos secundários e terciários.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho da vermifiltração, uma solução ambientalmente sustentável, de baixo custo, que pode ser implementada como etapa do processo de tratamento de águas residuais provenientes da suinicultura. A vermifiltração consiste na biofiltração efetuada por organismos vivos, minhocas e microrganismos com remoção de determinados poluentes da água residual por processos de bio oxidação e de estabilização da matéria orgânica.

Estudou-se, em particular, a configuração do vermifiltro, constituído por materiais minerais, brita e areia de rio graníticas, e materiais orgânicos como suporte para os organismos vivos, serrim e vermicomposto:

- Vermifiltro 1 - serrim com minhocas;
- Vermifiltro 2 - vermicomposto com minhocas;
- Vermifiltro 3 – vermicomposto (controlo).

O desempenho dos sistemas foi avaliado durante três meses através da determinação de parâmetros físico-químicos como NO_3 , NO_2 , PO_4 , CBO_5 , CQO, SDT, SST e Zn e parâmetros microbiológicos, coliformes totais e fecais através da pesquisa de *E. coli*, no afluente (entrada do vermifiltro) e no efluente (saída do vermifiltro). As experiências foram realizadas em sistema de recirculação de água tratada, tendo sido observadas conversões significativas no que se refere aos compostos inorgânicos oxidados (nitritos, nitratos e fosfatos), em todos os vermifiltros. O estudo demonstrou ainda que ao nível de CQO, CBO e SST há uma boa eficiência de remoção nos 3 sistemas, com melhores desempenhos observados no vermifiltro 1. Em relação aos parâmetros CT e *E. coli*, os resultados são inconclusivos.

O sistema de vermifiltração com recirculação em modo contínuo estudado apresentou resultados promissores no tratamento dos efluentes suinícolas, nomeadamente na redução da carga orgânica e dos sólidos suspensos com melhores taxas de remoção no vermifiltro que usa serrim como substrato, podendo este vir a ser uma boa solução de tratamento para as explorações suinícolas da região.

Palavras-Chave: Vermifiltração, Suiniculturas, Tratamento de Águas Residuais, *Eisenia fetida*, Sustentabilidade

Abstract

Some regions in Portugal, particularly in the municipality of Leiria, have many pig farms concentrated in a small geographic area, which has a negative environmental impact due to the high pollutant generated and the lack of treatment, especially for secondary and tertiary treatments.

This work evaluates the performance of vermifiltration. Vermifiltration is an environmentally sustainable, low cost solution, that can be implemented as a step in the process of treating wastewater from pig farms. It consists of biofiltration carried out by living organisms, earthworms and microorganisms, leading to the removal of certain pollutants from residual water by processes of bio-oxidation and stabilization of organic matter.

In this work, the configuration of vermifilter is constituted by mineral materials gravel, granitic river sand and organic materials, as substract for living organisms. Sawdust and vermicompost were specially studied:

- Vermifilter 1 – sawdust with earthworms;
- Vermifilter 2 - vermicompost with earthworms;
- Vermifilter 3 – vermicompost (control).

The performance of the systems was evaluated during three months through the determination of physical-chemical parameters such as NO₃, NO₂, PO₄, BOD₅, COD, TDS, TSS, Zn and microbiological parameters, total and fecal coliforms through *E. coli* research, in the tributary (vermifilter inlet) and the effluent (vermifilter outlet). The vermifilters experiments were carried out in a treated water recirculation system with significant conversions regarding oxidized inorganic compounds (nitrites, nitrates, and phosphates). The study also have determined that there is a good removal efficiency of COD, BOD and TSS in the three systems with better performance observed in vermifilter 1. However, the results obtained are not conclusive regarding microbiological parameters.

The vermifiltration system, with recirculation in continuous mode, have revealed promising results in the treatment of pig effluents. Namely in the reduction of organic load and suspended solids with better removal rates in the vermifilter that uses sawdust as substrate, which may become a good treatment solution for pig farms in the region.

Keywords: Vermifiltration, Pig Farming, Wastewater Treatment, *Eisenia fetida*, Sustainability

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract.....	vi
Lista de siglas e acrónimos.....	xiv
1 Introdução.....	1
2 Enquadramento teórico.....	4
2.1 Efluente Agropecuário.....	4
2.2 Tratamentos em Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). 6	
2.2.1Processos físicos	6
2.2.2Processos químicos	8
2.2.3Processos biológicos	8
2.3 Tratamentos convencionais	9
2.3.1Separação mecânica	9
2.3.2Lagoa anaeróbia	9
2.3.3Lagoa aeróbia	10
2.3.4Lagoa facultativa.....	10
2.3.5Lagoa de maturação	10
2.3.6Compostagem.....	10
2.3.7Bacia de sedimentação	10
2.4 Vermifiltração.....	11
2.4.1Biologia das minhocas	11
2.4.2Processo da vermifiltração	12
2.5 Hidroponia	16
2.6 Enquadramento legal	20
3 Materiais e métodos.....	25
3.1 Montagem e preparação do sistema de vermifiltração	25

3.2	Controlo do sistema.....	36
4	Resultados e Discussão.....	39
5	Conclusões e Trabalho Futuro.....	54
	Referências Bibliográficas.....	57
	Anexo A.....	63

Lista de Figuras

Figura 1: Função das minhocas no processo de vermifiltração (adaptado de Singh et al. [20])	13
Figura 2: Mecanismos que atuam nos vermifiltros (adaptado de Jiang et al 2016 [41])... 14	
Figura 3: Técnica cultura de jangada (fonte: https://www.groho.pt/post/crie-o-seu-proprio-sistema-floating-hidroponia)	17
Figura 4: Técnica de flutuação dinâmica de raízes (fonte: http://aquaponicsgetdes.blogspot.com/2017/10/nutrient-film-technique-nft-hydroponic.html).....	17
Figura 5: Esquema simplificado de um sistema hidropónico para tratamento de águas residuais (baseado em Magwaza et al. [44]).....	18
Figura 6: Configuração do vermifiltro (baseada na configuração proposta por Sinha et al. [21])	25
Figura 7: Torres com os furos e cortes feitos	26
Figura 8: Montagem do sistema de recolha.....	26
Figura 9: Sistema de irrigação final.....	27
Figura 10: Configuração do Vermifiltro.....	28
Figura 11: Vermifiltros 1, 2 e 3 e respetivas camas da esquerda para a direita	31
Figura 12: Amortecimento da queda do efluente na superfície do vermifiltro	31
Figura 13: Funcionamento do sistema de vermifiltração	32
Figura 14: Sistema de hidroponia acoplado ao sistema de vermifiltração	34
Figura 15: Perfuração da parte superior das garrafas	35
Figura 16: Montagem do sistema de hidroponia para o cultivo de beldroegas e de alfaces.....	35
Figura 17: CBO ₅ no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção	43
Figura 18: CQO no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção	44
Figura 19: Zn no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção	44
Figura 20: Condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante as amostragens	45

Figura 21: SST no efluente (entrada e saída do vermifiltro)	45
Figura 22: Turvação no efluente (entrada e saída do vermifiltro).....	46
Figura 23: SDT no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção	46
Figura 24: pH no efluente (entrada e saída do vermifiltro)	47
Figura 25: N-amoniaco no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção	47
Figura 26: NO ₂ no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção	48
Figura 27: NO ₃ no efluente (entrada e saída do vermifiltro)	48
Figura 28: P total no efluente (entrada e saída do vermifiltro).....	49
Figura 29: P-PO ₄ no efluente (entrada e saída do vermifiltro)	49
Figura 30: Estado final das alfaces ao fim de uma semana	52
Figura 31: Estado final das beldroegas, diluições de (1/5 v/v) e (1/2 v/v), ao fim de uma semana	53
Figura 32: Viabilidade celular apresentada pelos extratos das folhas de beldroega	54
Figura A 1: Tabela de referência para os parâmetros de qualidade destinada a rega (adaptado de Decreto Lei 236/98)	63
Figura A 2: Valores limite de emissão para a descarga de águas residuais (adaptado de Decreto Lei 236/98).....	64

Lista de equações

Equação 1: Eficiência de remoção do parâmetro	43
---	----

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação dos principais efluentes agropecuários (adaptado de Portaria nº631/2009 [26]).....	4
Tabela 2: Características (valores médios) de um efluente de suinicultura (adaptado de Amendoeira [28])	5
Tabela 3: Estágios de tratamento de águas residuais em ETAR (adaptado de Decreto-Lei nº152/97 [73]).....	6
Tabela 4: Tipos e exemplos de processos biológicos (adaptado de Aecom [29]).....	9
Tabela 5: Tipos diferentes de águas residuais usadas em vermifiltros (baseada em Singh et al. [20])	12
Tabela 6: Remoção de poluentes e nutrientes de vários sistemas hidropónicos influenciada pelo tipo de sistema hidropónico e seleção de planta (baseado em Magwaza et al. [57])	19
Tabela 7: Parâmetros para qualidade das águas para rega (baseado no Decreto de Lei nº 236/98 [51])	21
Tabela 8: VLE para descarga de águas residuais (baseado no Decreto de Lei nº 236/98 [51])	22
Tabela 9: Parâmetros a monitorizar nas ApR em função do tipo de usos (baseado no Decreto-Lei nº119/2019 [9])	23
Tabela 10: Classes de rega e respetivos usos (baseado no Decreto-Lei nº119/2019 [9])..	24
Tabela 11: Parâmetros a cumprir para água de reutilização para a rega (baseado no Decreto-Lei nº119/2019 [9])	24
Tabela 12: Materiais usados na elaboração dos vermifiltros.....	27
Tabela 13: Características físico-químicas do vermicomposto	29
Tabela 14: Caracterização da granulometria do serrim	30
Tabela 15: Características físico-químicas do serrim.....	30
Tabela 16: Caudais medidos nos respetivos vermifiltros	33
Tabela 17: Métodos usados e precisão na determinação dos parâmetros.....	38
Tabela 18: Caracterização do efluente da lagoa da exploração suinícola	39
Tabela 19: Caracterização do efluente à entrada e saída dos vermifiltros.....	41

Tabela 20: Caracterização do efluente à entrada e saída dos vermifiltros (continuação)..	42
Tabela 21: Resultado das análises microbiológicas realizadas na amostragem de março 2019	50
Tabela 22: Resultado de análises microbiológicas realizadas na amostragem de maio 2019	50
Tabela 23: Resultado do teste feito ao tempo de residência dos organismos patogênicos durante o seu armazenamento.....	51
Tabela 24: Resultados de viabilidade celular das células CACO-2, avaliada pelo teste MTT, quando submetidas à presença (6 horas de incubação) de diferentes concentrações de extrato de beldroega (folhas).	53

Lista de siglas e acrónimos

CBO ₅	Carência Bioquímica de Oxigénio após 5 dias a 20°C
CE	Condutividade Elétrica
CF	Coliformes fecais
CQO	Carência Química de Oxigénio
CT	Carbono Total
COT	Carbono Orgânico Total
ENEAPAI	Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
HLR	<i>Hydraulic Loading Rate</i> – Carga hidráulica
K-total	Potássio total
MS	Matéria Seca
N-amoniacal	Azoto amoniacal
N-total	Azoto total
NTK	Azoto total de Kjeldahl
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
PO ₄	Fosfato
P-total	Fósforo total
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
SMEWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater</i>
TLR	<i>Time Loading Rate</i> – Tempo de retenção
UFC	Unidades Formadoras de Colónias
VLE	Valores Limite de Emissão
Zn - total	Zinco total
ApR	Água para Reutilização

1 Introdução

O consumo global de água aumentou cerca de seis vezes nos últimos 100 anos [1] e continua a crescer a uma taxa de cerca de 1% ao ano [2], devido, entre outros fatores, ao crescimento populacional, desenvolvimento económico e aos padrões de consumo. Como resultado da tendência de consumo, a sociedade mundial está a sofrer as consequências da escassez de água potável, efeito que é mais acentuado numas regiões do que noutras. Em relação à Europa, muitas pessoas da Europa ocidental e central sofrem de falta ou desigualdade no acesso aos serviços de água e saneamento, sendo as zonas rurais as mais afetadas [3]. A contaminação da água resultante de atividades humanas constitui uma das principais problemáticas a nível mundial [4][5][6][7]. Tendo em conta os cenários de escassez de água a nível mundial para determinados usos será fundamental implementar soluções que permitam assegurar a disponibilidade de água na sociedade atual. Nesse sentido em 2015 aquando do estabelecimento da agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável foram estabelecidos 17 objetivos, dos quais o sexto trata de garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento básico para todos [8]. Nesse sentido, em Portugal vigoram, o Decreto-Lei nº119/2019 e o Guia APA para a reutilização de água para usos não potáveis, onde são definidas normas ajustadas aos usos em causa bem como a proteção dos potenciais recetores, tendo por base a avaliação de risco [9][10].

Em muitos países, a maior fonte de poluição da água hoje é a agricultura, sendo o nitrato o contaminante químico mais comum encontrado em aquíferos de águas subterrâneas. As populações rurais mais pobres estão mais expostas à contaminação fecal das suas fontes de água devido à falta de gestão de fontes de água e saneamento seguras [3].

Em Portugal de entre as várias atividades económicas desenvolvidas, a suinicultura é uma atividade muito importante do ponto de vista económico, mas com um impacto ambiental significativo devido à carga de matéria orgânica, azoto, fósforo e organismos fecais presente nas águas residuais. Uma grande quantidade de explorações suinícolas encontra-se concentrada na zona centro do país, 41% do total de suínos, segundo os dados apurados em dezembro de 2018 [11]. Cerca de 13% da produção nacional de suínos provém de explorações situadas na bacia do rio Lis, no distrito de Leiria, as quais ao longo das últimas décadas, têm enfrentado grandes desafios no tratamento e encaminhamento de seus efluentes devido à ausência de sistemas de tratamento adequados, nomeadamente sistemas de tratamento secundário e terciário, que levam à contaminação das águas superficiais locais [12]. Os sistemas convencionais são difíceis de implementar por não serem economicamente sustentáveis para as explorações existentes que não têm grande dimensão e estão dispersas. Torna-se assim fundamental estudar sistemas alternativos de tratamento que possam responder de forma adequada às necessidades do setor, entre os quais a vermifiltração.

A vermifiltração é uma solução de tratamento biológico económica e ambientalmente sustentável que consiste na biofiltração baseada na simbiose entre os microrganismos de um biofiltro e as minhocas adicionadas [13]. Esta solução tem sido testada com resultados promissores no tratamento de águas residuais urbanas e agroindustriais, demonstrando bons resultados na redução de azoto total de Kjeldahl (NTK), carência bioquímica de oxigénio (CBO), carência química de oxigénio (CQO), sólidos dissolvidos totais (SDT) e sólidos suspensos totais (SST), com taxas de remoção entre 70%-90%. Durante o processo outros subprodutos não tóxicos são obtidos, como o vermicomposto e o efluente tratado que podem ser usados como biofertilizantes [14][15][16][17][18][19][20][21][22][23][24].

Apesar dos vários estudos científicos sobre a aplicação de vermifiltração no tratamento de efluentes industriais e domésticos estarem descritos na literatura, poucos são os que se referem ao tratamento de efluentes de suinicultura usando vermifiltração. Um dos mais relevantes foi conduzido por Li et al. (2008) [16], focando-se no balanço de gases com efeito de estufa como forma de demonstrar a amortização de carbono e azoto no efluente suinícola. O trabalho baseou-se num sistema de tanques e vermifiltros, onde o pavimento no qual os suínos se encontravam era lavado, e as fases líquida e sólida eram separadas para dois tanques distintos. A fase líquida era seguidamente passada por um sistema de aspersão pelos quatro vermifiltros colocados sequencialmente, por um período de dois dias. O efluente tratado era depois encaminhado para um último tanque, ao qual era adicionada água corrente, cuja mistura era usada para a lavagem do pavimento (ApR). Apesar de inferiores em comparação com outros estudos, os resultados obtidos foram bons mostrando uma redução em 40% de matéria seca, 50% em matéria orgânica, 60% em N-amoniaco, 50% em N-total, 30% em P-total, 50% em COT e 60% em Carbono Inorgânico.

Considerando a relevância de encontrar soluções que minimizem o impacto dos efluentes suinícolas na região, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da vermifiltração no tratamento dos efluentes produzidos no estágio de tratamento primário convencional, durante cerca de 3 meses em modo contínuo, avaliando também a performance de dois tipos de substrato, serradura e vermicomposto, suportes usados como camas para as minhocas.

O presente estudo encontra-se estruturado em cinco capítulos. Na introdução faz-se uma abordagem sumária ao tema do projeto. No estado da arte é feita uma descrição do processo de vermifiltração, são apresentados os conceitos, os desenvolvimentos e conhecimentos obtidos em estudos realizados sobre o processo, bem como a sua importância para a realização deste trabalho, e é ainda realizado o enquadramento legal em relação à qualidade da água para usos específicos. Nos materiais e métodos é feita a descrição dos vermifiltros, e são apresentados os procedimentos experimentais utilizados na caracterização dos efluentes. Nos resultados e discussão são apresentados os dados da construção dos vermifiltros e os valores das concentrações dos parâmetros analisados do efluente agroindustrial à entrada e saída dos vermifiltros. Simultaneamente é realizada uma análise crítica aos resultados procurando suportar cientificamente os

comportamentos observados. No último capítulo são apresentadas as conclusões obtidas sugerindo possíveis opções/melhorias para estudos futuros.

2 Enquadramento teórico

2.1 Efluente Agropecuário

Os efluentes agropecuários são atualmente considerados um dos mais graves e persistentes problemas ambientais contribuindo para um excedente de matéria orgânica, patogénicos e poluentes emergentes [25][26]. A classificação dos efluentes agropecuários e respetiva descrição encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos principais efluentes agropecuários (adaptado de Portaria nº631/2009 [26])

Classificação do efluente	Descrição
Estrume	Mistura de fezes e urinas dos animais com materiais de origem vegetal como palhas e matos, com maior ou menor grau de decomposição, incluindo a fração sólida do chorume, assegurando que não tem escorrência líquida aquando da sua aplicação (MS≈25%)
Chorume	Mistura de fezes e urinas dos animais, bem como de águas de lavagem ou outras, contendo por vezes desperdícios da alimentação animal ou de camas e as escorrências provenientes das nitreiras e silos (MS≈10%)
Água suja	Proveniente da lavagem das salas de ordenha e áreas contíguas e da sua mistura com os dejetos nos parques descobertos e águas pluviais
Água lixiviante	Resulta da fermentação durante a ensilagem dos cereais, na qual são produzidos compostos ácidos que conjuntamente com as concentrações variáveis de N conferem a estas águas um baixo pH, corrosividade e CBO elevadas. A sua formação reduz o valor alimentar da silagem e o volume produzido depende do teor de humidade do material ensilado, condições

Entre estes, os efluentes derivados de suinicultura são caracterizados por uma elevada variabilidade devida às diferentes práticas de exploração, tendo em comum, uma elevada carga de sólidos totais (ST), carga orgânica expressa em carência química e bioquímica de oxigénio (CQO e CBO respectivamente), presença de microrganismos (incluindo patogénicos), grandes quantidades de nutrientes como azoto (N) e fósforo (P), para além de outros contaminantes como metais, possíveis detergentes e resíduos de medicamentos [27], Tabela 2.

Tabela 2: Características (valores médios) de um efluente de suinicultura (adaptado de Amendoeira [28])

<i>Parâmetro</i>	Valor médio (mg/L)	Capitação (g/animal.dia)
<i>pH</i>	7,72	-
<i>CBO₅</i>	10 200	103
<i>CQO</i>	37 400	374
<i>ST</i>	18 600	186
<i>SST</i>	13 300	133
<i>N-total</i>	2380	39,0
<i>N-amoniacal</i>	2190	22,0
<i>P-PO₄</i>	963	9,00
<i>Zn</i>	26	0,26

Surge deste modo uma necessidade de criar um sistema de gestão deste tipo de efluentes que é dividido em seis etapas principais: a produção, a recolha, o armazenamento, o tratamento, a transferência e a utilização.

A produção refere-se à quantidade e natureza dos resíduos gerados pela exploração suinícola, sendo que esta inclui as análises à produção (tipo, consistência, volume, localização e periodicidade dos resíduos produzidos) devendo respeitar a necessidade de promover o uso eficiente da água, fomentando a redução do seu consumo e, sempre que possível e adequado, proceder à sua reutilização. A recolha consiste na aglomeração dos efluentes no ponto de origem ou unidade autónoma. O armazenamento abrange o confinamento temporário dos resíduos em estruturas apropriadas, como pavilhões ou armazéns, fossas, tanques, lagoas ou nitreiras até tratamento ou transporte para o destino adequado. O tratamento engloba todas as funções que tem como objetivo a redução da carga poluidora dos resíduos gerados pela exploração, incluindo tratamentos de natureza física, química e biológica. O processo de transferência retrata o movimento e transporte dos resíduos através do sistema. Por último, a utilização é o destino dos produtos residuais reutilizáveis e a reintrodução de produtos residuais no processo.

De todas as funções acima descritas, o armazenamento e o tratamento final são as que nos últimos anos tem apresentado maiores preocupações a nível de questões ambientais, sociais e económicas. Com o foco a nível ambiental, pode verificar-se que, com o aumento de suiniculturas e/ou aumento de número de animais, aumenta o volume de efluente e consequentemente maior inadequação dos sistemas de tratamento, uma vez que estes não têm sido objeto de alteração. Este tipo de exploração tem sido considerado como uma das maiores fontes de poluição das águas superficiais em termos de azoto amoniacal

(N-amoniaco), fósforo (PO_4) e microrganismos patogénicos, e em relação às águas subterrâneas em termos de nitratos (NO_3) devido à contaminação dos solos por espalhamento dos resíduos.

Desse modo, uma das formas para minimizar os impactos negativos sobre o ambiente provocados pelas descargas de efluentes nas linhas de água é a aplicação de um sistema de tratamento eficaz e que o próprio processo de tratamento não apresente impactos negativos elevados sobre o ambiente. Existem vários tipos de tratamento, sendo que o mesmo depende da quantidade e das características do efluente, as quais por seu lado dependem muito da idade, sexo e tipo de alimentação a que os animais estão sujeitos [28]. Há vários tipos de tratamento que serão descritos nas subseções seguintes, no entanto o foco do trabalho passa pelos tratamentos baseados em soluções mais ecológicas.

2.2 Tratamentos em Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)

Atualmente todos os efluentes domésticos e agroindustriais produzidos têm de sofrer tratamento para a sua reciclagem e valorização. Os efluentes domésticos e industriais são tratados em ETAR através de quatro principais tratamentos: preliminar, primário, secundário e terciário adequando sempre o tipo de tratamento ao tipo de efluente a ser tratado [29], Tabela 3.

Tabela 3: Estágios de tratamento de águas residuais em ETAR (adaptado de Decreto-Lei nº152/97 [73])

Estágio de tratamento	Descrição
<i>Preliminar</i>	Remoção dos constituintes de maiores dimensões tais como ramos e areias e também gorduras que possam causar problemas nos sistemas operativos
<i>Primário</i>	Tratamento por processo físico e/ou químico que envolva a decantação das partículas sólidas em suspensão, ou por outro processo em que a CBO_5 das águas recebidas seja reduzida
<i>Secundário</i>	Tratamento biológico que remova matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes (azoto e fósforo)
<i>Terciário</i>	Tratamento por qualquer sistema de eliminação que permita a sua descarga no meio receptor

Os quatro tratamentos acima referenciados baseiam-se em três diferentes tipos de processos, os físicos, os químicos e os biológicos.

2.2.1 Processos físicos

Os processos físicos são os que primeiramente foram testados e observados pelo Homem e os primeiros a serem usados no tratamento de águas residuais dividindo-se em gradagem/tamisação, agitação mecânica, floculação, sedimentação, flotação, filtração e desinfecção por radiação [29][30]. Nos processos de gradagem e tamisação são usados

dispositivos com aberturas de tamanho uniforme pelos quais passa o líquido e onde são retidos os sólidos de dimensões superiores a estas, a diferença entre estes processos encontra-se no tipo de dispositivo usado, no caso da gradagem são usadas grades que retiram sólidos de maiores dimensões, e no caso da tamisação são usadas redes removendo sólidos de menores dimensões. Estas grades/redes variam no tamanho das aberturas e na sua inclinação aquando da instalação. Para a agitação mecânica são geralmente usados equipamentos de agitação contínua.

Os processos de floculação são divididos em dois tipos principais a floculação pericinética e a floculação ortocinética. Na floculação pericinética, também chamada de microfloculação, a agregação das partículas ocorre pelo movimento aleatório destas no fluido, este movimento aleatório é também conhecido como movimento aleatório Browniano, este tipo de floculação ocorre para partículas entre os 0,001 a 1 μm [29]. A floculação ortocinética ou macrofloculação ocorre para partículas superiores a 1 μm e pode ocorrer por indução de gradientes de velocidade e por gravitação diferencial. Com a indução de gradientes de velocidade, partículas com maior velocidade colidem com as de menor velocidade arrastando-as num campo de velocidade que promove a sua junção tornando-se maiores, conseqüentemente será mais fácil a sua remoção por separação por gravidade. A gravitação diferencial é quando partículas de maiores dimensões arrastam partículas menores no processo de sedimentação por ação da gravidade, deste modo ao colidirem e se juntarem a velocidade de deposição das partículas conjuntas será maior do que a velocidade de deposição inicial de partícula maior [29].

A flotação é um método pelo qual são separadas partículas sólidas ou líquidas de uma fase líquida através da introdução de um meio gasoso, sendo o mais usualmente usado ar. Este processo ocorre por adição do gás no meio líquido que provoca a formação de bolhas às quais as partículas se vão ligar e conseqüentemente flutuar até à superfície, onde podem ser posteriormente retiradas por arrastamento. No tratamento de águas residuais, o processo de flotação pode apresentar-se mais viável que o de sedimentação, pelo facto de na presença de partículas de menores dimensões e mais leves que sedimentam mais lentamente estas poderem ser mais rapidamente removidas com a sua ascensão à superfície [29].

A filtração é um processo que se baseia na remoção de material em suspensão e coloidal e é geralmente procedido por outras operações como a coagulação/floculação e sedimentação.

O termo filtração é usado para descrever todos os tipos de partículas ou agregados de partículas que caem através de um líquido sob ação da força da gravidade.

No processo de desinfecção por radiação é usada a radiação ultravioleta (UV). A radiação UV é aquela que destrói bactérias, esporos bacterianos, fungos, vírus e outros microrganismos. Esta radiação encontra-se nos 254 nm penetrando a parede celular e é absorvida pela célula incluindo o material genético, DNA e RNA, parando a replicação celular e causando a morte [31].

2.2.2 Processos químicos

Os processos químicos eliminam constituintes dos efluentes por adição de substâncias químicas ou por reações químicas intrínsecas ao processo. Estes processos podem ocorrer por coagulação e desinfecção química [29].

A coagulação é um processo que envolve a adição de compostos químicos que causam a desestabilização das partículas em suspensão levando à sua aglomeração. Sendo este processo normalmente aplicado em conjunto com a floculação. Os coagulantes normalmente adicionados para a ocorrência do processo são os eletrólitos. Estes são materiais que ao serem adicionados à água residual alteram a sua carga elétrica, aumentando a condutividade elétrica, fazendo com que as partículas se atraiam e coagulem [31].

A desinfecção é o processo onde são eliminados os microrganismos patogênicos, impedindo a transmissão direta de doenças transmissíveis pela água e destruindo os agentes contaminantes antes da sua disseminação pelos meios recetores. Existem três tipos de desinfecção química, por agentes não oxidantes como ácidos e bases, agentes oxidantes não halogenados tais como o peróxido de hidrogénio, o ozono ou o permanganato de potássio e por agentes oxidantes halogenados como o bromo, iodo e cloro. Os mais frequentes utilizam cloro ou ozono, ou métodos combinados.

Sendo que o tempo de necessário para exposição a radiação UV é inferior ao tempo necessário ao uso de tanques de desinfecção por cloro ou ozono o tratamento por radiação UV é preferencialmente usado.

2.2.3 Processos biológicos

Os processos biológicos têm como objetivo a remoção das substâncias orgânicas biodegradáveis convertendo-as em constituintes gasosos que volatilizam para a atmosfera e em biomassa que pode ser posteriormente removida por processos físicos. Além disso, também atuam ao nível da remoção de azoto e fósforo [29]. Os tipos de tratamento biológico estão associados a três diferentes objetivos, à remoção de matéria orgânica solúvel, à remoção de matéria orgânica insolúvel e à remoção de matéria inorgânica solúvel como é o caso do azoto e do fósforo. Esta remoção pode ocorrer por processos diferentes que se encontram descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Tipos e exemplos de processos biológicos (adaptado de Aecom [29])

<i>Tipo de processo</i>	<i>Definição</i>	<i>Exemplos</i>
<i>Aeróbio</i>	Os microrganismos têm metabolismo respiratório dependente de O ₂ como último aceitador de elétrons	Lamas ativadas
		Lagunagem
		Leitos percoladores
		Biodiscos
<i>Anaeróbio</i>	Os microrganismos têm o metabolismo fermentativo e só sobrevivem na ausência de O ₂ , contudo podem coexistir os aeróptlerantes	Cama fluida
		Processo de contato anaeróbio
		Filtro anaeróbio
		Lagoas anaeróbias
<i>Anóxico</i>	Os microrganismos utilizam compostos alternativos como últimos aceitadores de elétrons, como NO ₂ ⁻ e NO ₃ ⁻ .	Desnitrificação

2.3 Tratamentos convencionais

Como referido anteriormente os efluentes suinícolas têm como principal característica a elevada carga orgânica que não é suportada pelas ETAR, dimensionadas para tratamento de águas residuais urbanas, pelo que normalmente as suiniculturas aplicam tratamentos prévios. Estes tratamentos estão descritos em diferentes manuais, [32][33], os quais são referidos neste trabalho de forma resumida, nomeadamente processos de separação e lagoas de estabilização que podem ser classificadas em anaeróbias, facultativas (arejadas e naturais) aeróbias ou de maturação, de acordo com as características da atividade microbiológica existente.

2.3.1 Separação mecânica

Este processo tem como objetivo a separação do chorume bruto com diminuição do teor de sólidos e conseqüentemente do volume de efluente a armazenar, e pode ser realizado recorrendo a sedimentadores, centrifugadores, membranas ou por compressão.

2.3.2 Lagoa anaeróbia

Este tipo de tratamento, muito usado pelas suiniculturas da região, tem como objetivo a redução da matéria orgânica e do azoto no efluente além da redução de odor libertado, por deposição dos sólidos na base da lagoa. São habitualmente usadas como pré-tratamento de águas residuais com temperatura e carga orgânica elevada, mantendo-se anaeróbias, pela elevada carga de CBO₅ que leva ao consumo da quantidade de oxigénio

disponível. Os compostos orgânicos são estabilizados na lama produzida ou removidos pela conversão em espécies gasosas.

2.3.3 Lagoa aeróbia

Muito semelhante à lagoa anaeróbia esta lagoa tem também como principais objetivos a redução de matéria orgânica e o controlo de odores. Caracterizando-se por possuírem pouca profundidade a luz consegue penetrar até ao fundo da lagoa permitindo a atividade fotossintética das algas. Deste modo o processo é predominantemente aeróbio onde os microrganismos oxidam a matéria orgânica libertando-a em formas gasosas como CO₂, e transformam os compostos de azoto e fósforo em formas inorgânicas oxidadas.

2.3.4 Lagoa facultativa

Esta lagoa tem como objetivo a estabilização da matéria orgânica pelo uso de algas e bactérias aeróbias, anaeróbias e facultativas. Esta lagoa funciona como aeróbia à sua superfície e anaeróbia em profundidade, sendo que neste caso as lamas formadas serão de sólidos de maiores dimensões e os gases formados serão oxidados pelas bactérias aeróbias à superfície ou libertados para a atmosfera.

2.3.5 Lagoa de maturação

O objetivo principal desta lagoa é a remoção de microrganismos pela ação da radiação UV dos raios solares. Este tipo de lagoa é completamente aeróbia podendo em certos casos funcionar em modo facultativo. É normalmente instalada em série com lagoas anaeróbias e/ou facultativas, e é geralmente aplicada quando existe a possibilidade do efluente ser usado para a rega de culturas agrícolas comestíveis.

2.3.6 Compostagem

A compostagem é um processo aeróbio em que existe a oxidação biológica de substratos, por ação microbiana que conduz à sua mineralização e humificação. O seu objetivo é a obtenção de um produto estável, maturado, não fitotóxico, livre de odores, com volume e massa reduzidos e higiénico – designado por “composto”. A compostagem pode ser aplicada após a secagem de estrume ou pode ter o fim de tratar os resíduos orgânicos antes da deposição em aterro.

2.3.7 Bacia de sedimentação

Este método tem como objetivo a remoção de sólidos e outras substâncias das águas sujas da atividade agropecuária. Trata-se de uma bacia de pouca profundidade projetada para baixas velocidades de modo a permitir a queda dos materiais sedimentáveis.

Em Portugal, a grande maioria dos sistemas de tratamento das explorações suinícolas utiliza o sistema de lagoas de estabilização, visto ser um processo de baixo custo de exploração e de fácil operação, no entanto os efluentes tratados neste tipo de sistema podem gerar problemas de deterioração da qualidade das águas superficiais e

subterrâneas. Esta situação deve-se fundamentalmente ao facto de serem utilizados critérios de dimensionamento inadequados para o tratamento deste tipo de águas residuais, técnicas e procedimentos incorretos na construção e na operação dos sistemas de lagunagem. Outra situação é o facto da maioria destas explorações se encontrarem muito próxima das populações e longe de explorações agrícolas que poderiam assegurar uma valorização dos seus efluentes, situação muito problemática para o setor [34].

2.4 Vermifiltração

2.4.1 Biologia das minhocas

As minhocas são seres cilíndricos, longos, finos, simétricas bilateralmente, segmentadas, não possuem ossos ou cartilagem e medem apenas alguns centímetros. No entanto, algumas espécies tropicais e asiáticas são maiores e mais robustas [35][36]. São seres muito sensíveis ao tato, luz e temperatura, tolerando temperaturas entre 5°C e 29°C, consoante a espécie. Valores de temperaturas entre os 20°C e 25°C e humidade entre 50-60% são condições ótimas para o seu funcionamento [37].

Possuem pequenas cerdas quitinosas ao longo do corpo que os torna ótimos animais escavadores, conseguindo formar verdadeiros labirintos no solo. A sua distribuição no solo vai depender de vários fatores tais como a humidade do solo, a disponibilidade de matéria orgânica e o pH do solo [35][36]. São animais hermafroditas, significando que possuem tanto os órgãos sexuais masculinos como femininos, mas necessitam sempre de outra minhoca para acasalar. Uma minhoca sexualmente madura apresenta uma área epidérmica distinta em forma de anel chamada de clitelo. Este possui células que segregam material para a formação de casulos [36]. O período de vida delas é de 3 a 7 anos variando consoante a espécie e ambiente onde se encontram [37].

São em geral muito resistentes a uma grande variedade de contaminantes químicos incluindo metais pesados e poluentes orgânicos no solo e já foi comprovado que os bioacumulam nos seus tecidos [35][38].

Estas são promotoras do crescimento de bactérias aeróbias que são benéficas na degradação da biomassa e também atuam como aeradores, moedores, trituradores, degradadores químicos e estimuladores biológicos [39].

Deste modo, as minhocas funcionam como um biorreator, atuando no processo físico, degradação química e nos processos de biodegradação, e todos estes processos combinados fazem com que o corpo das minhocas se comporte como um filtro biológico que absorve poluentes das águas residuais e reduzem em muito a CBO, CQO, STD, SST e turvação [38].

2.4.2 Processo da vermifiltração

A vermifiltração surge como uma tecnologia de tratamento biológico efetuado por minhocas e desta forma permitir a utilização do efluente vermifiltrado para outros fins, ao invés do efluente ser simplesmente descarregado nas massas de água recetoras [38].

Este método consiste na utilização de um filtro aeróbio constituído por minhocas, que não produz lamas e não requer muita energia. Este filtro revela-se eficaz pelo facto das minhocas digerirem as partículas que existem no efluente a tratar quando este passa pelo filtro [20], sendo eficaz no tratamento de águas residuais e lamas [13].

Os primeiros testes realizados com um vermifiltro tiveram por objetivo o tratamento de efluentes domésticos e municipais, sendo que, atualmente, estes já são aplicados no tratamento de outros tipos de efluentes, como por exemplo, efluentes provenientes de várias indústrias, incluindo as agropecuárias. São apresentadas na Tabela 5 alguns dos diferentes tipos de águas residuais em que já se usaram vermifiltros.

Tabela 5: Tipos diferentes de águas residuais usadas em vermifiltros (baseada em Singh et al. [20])

<i>Tipos de água residual</i>	CBO no afluente (mg/L)	Remoção CBO (%)	CQO no afluente (mg/L)	Remoção CQO (%)	Referências
Runoff Urbano	-	-	863.0 ± 3.60	88 - 90	Tomar et al. [40]
Esgoto Rural	-	-	400	69.2 74.4	Nie et al. [41]
	240 ± 13	85 91	415 ± 18	-	Kumar et al. [42]
	330 ± 15	84 86	480 ± 21	65 80	Kumar et al. [43]
Esgoto Doméstico	-	54.78 66.36	-	47.3 64.7	Meiyan et al. [44]
	121 280	96 98	190 405	94 95	Manyuchi et al. [45]
	327 ± 213	96 98	472 ± 718	-	Kumar et al. [46]
	328 ± 15	80 92	448 ± 32	70 80	Arora et al. [47]
	14 44	54.34 ± 8	40 100	40.31 ± 5	Yang et al. [48]
Águas residuais Indústria da gelatina	-	-	1832 ± 13.93	90.08 ± 0.176	Ghatnekar et al. [49]
Águas residuais Farmacêuticas	9370 11910	89.77 96.26	17400 - 20000	85.44 94.48	Dhadse et al. [50]
Desperdícios sólidos orgânicos e esgoto	350 ± 15	84 87	1523 ± 8.5	85 86	Rajpal et al. [51]
Lamas de esgoto		61.06 ± 13.87	9900 20000	53.01 ± 10.53	Li et al. [52]

A atratividade dos sistemas de vermifiltração passa pelo facto de apresentarem baixo custo, nomeadamente em termos energéticos. A energia necessária ao seu funcionamento é apenas a requerida para bombear o efluente [53] e tem fácil manutenção. A necessidade de pouco espaço é um fator importante de decisão em comparação com os sistemas tradicionais de tratamento [54]. Na vermifiltração, os microrganismos fazem a biodegradação da matéria orgânica, enquanto que as minhocas são responsáveis pela

regulação da atividade microbiana [54]. É possível assim remover contaminantes tanto químicos como biológicos num único sistema [37].

As minhocas ingerem e trituram o solo ou substrato juntamente com os poluentes provenientes do efluente, alterando assim as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, Figura 1 .

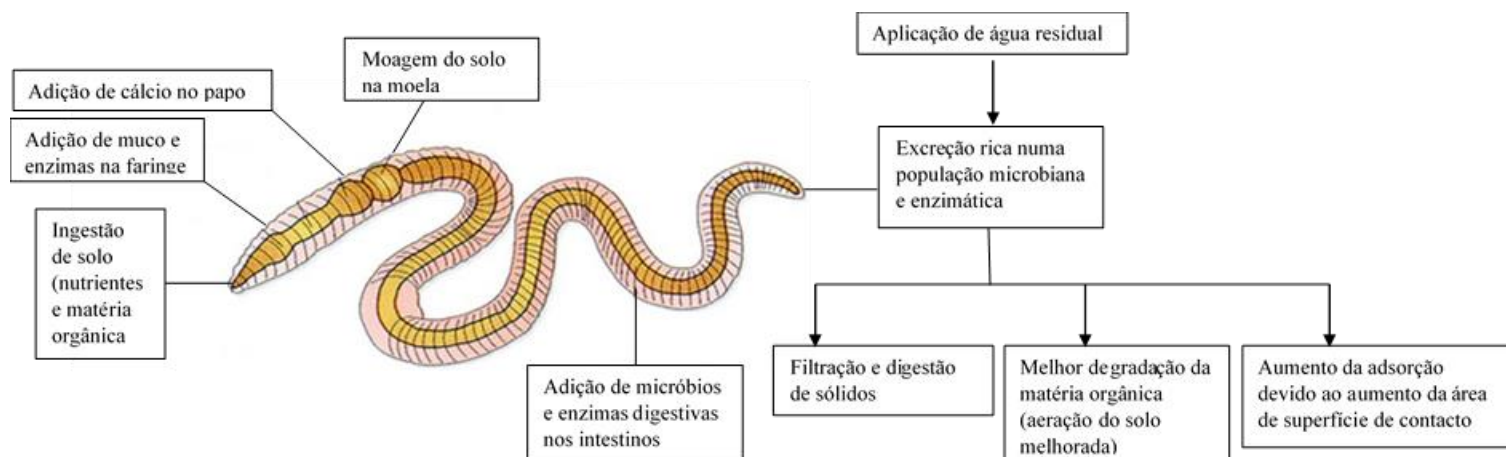


Figura 1: Função das minhocas no processo de vermifiltração (adaptado de Singh et al. [20])

A regulação da atividade microbiana acontece na medida em que os processos de trituração permitem aumentar a área superficial de contacto e a porosidade do meio. A ingestão é o processo que regula a flora microbiana na medida em que o intestino é o seu reservatório e também o seu meio excretor para o substrato onde atuam os microrganismos no processo de biodegradação. Além dos microrganismos, as minhocas excretam muco que ajuda na mineralização dos poluentes [20].

As minhocas transformam os poluentes da sua forma insolúvel para a forma solúvel, através de processos de decomposição enzimáticos ou outros. Elas ainda conseguem atacar os agentes patogénicos presentes na água residual por micróbios produtores de antibióticos que se encontram no seu intestino e libertando fluido celómico que possui uma forte capacidade antibacteriana resultando num efluente desinfetado e inodoro [38]. Os constituintes maioritários da matéria orgânica são degradados por enzimas específicas existentes no sistema digestivo, tais como a amilase, celulase, protease e muitas outras [13]. Através de vários estudos efetuados foi comprovado que os organismos do sistema do vermifiltro reduzem a carga orgânica, CBO₅ acima de 90%, CQO de 80-90%, e a carga de sólidos, SDT de 90-92% e os SST de 90-95% [36][38].

Os mecanismos envolvidos na vermifiltração estão representados no esquema da Figura 2.



Figura 2: Mecanismos que atuam nos vermifiltros (adaptado de Jiang et al 2016 [41])

Em termos operacionais, o vermifiltro não apresenta necessidade de intervenção de pessoas especializadas, nem de manutenções complexas. A sua performance depende, contudo, da afinação de alguns parâmetros operacionais, como o Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) que se refere ao tempo que o efluente (efluente suinícola ou outro a estudar) está em contacto com os constituintes do filtro, e a Carga Hidráulica (*Hydraulic Loading Rate* -HLR), que é a quantidade de efluente que passa na camada de minhocas por unidade de área superficial e unidade de tempo ($Lm^{-2}dia^{-1}$) [20].

A literatura refere que quanto maior o tempo de retenção, maior a eficiência de remoção. Os valores de tempo de retenção (TRH) mais comuns variam entre 1 e 3 horas. A camada filtrante é parte essencial do dimensionamento do vermifiltro, nomeadamente a cama das minhocas. Esta tem de permitir um crescimento adequado das minhocas e dos microrganismos tendo o papel relevante na adsorção dos poluentes [54] nomeadamente, os metais, sendo que a adsorção ocorre devido à sua grande área superficial específica assim como à presença de substâncias húmicas [20]. Outro parâmetro a ter em consideração, é a densidade de minhocas. Vários estudos demonstram que a densidade inicial deve rondar as 10-20 minhocas adultas por litro de substrato. Contudo, a médio e longo prazo a população de minhocas tende a ajustar-se às características do meio e do efluente a tratar [35][38].

Deste modo em comparação com outros processos de tratamento a vermifiltração apresenta diversas vantagens tais como:

1. Não produção de lamas – em outros tipos de tratamento convencionais, que na sua maioria são processos de fluxo e com um TRH pequeno, ocorre formação de um fluxo residual de complexos orgânicos e metais na forma de lamas. As lamas

produzidas, podem constituir um risco biológico, tendo de ser posteriormente encaminhadas para aterros, o que acarreta grandes custos. A maior vantagem de um sistema de vermifiltração é que não há formação de lamas. As minhocas decompõem os compostos orgânicos presentes nas águas residuais e simultaneamente destroem os sólidos (que formariam a lama) [39].

2. O efluente resultante é inodoro – as minhocas ao destruírem todos os compostos putrescíveis presentes na água residual eliminam os compostos que provocam o mau cheiro resultando assim num efluente sem qualquer mau cheiro [39].
 - a. O efluente resultante apresenta baixa carga de agentes patogénicos e químicos tóxicos podendo ser usado na agricultura e indústrias, devido à capacidade das minhocas destruírem agentes patogénicos, tais como, bactérias e fungos, e com a capacidade de bioacumular cargas elevadas de químicos tóxicos tais como metais pesados. Além disso o efluente vermifiltrado torna-se muito nutritivo devido à atividade metabólica das minhocas que libertam nutrientes essenciais como azoto-fósforo-potássio (NPK) podendo ser usado para rega de jardins e na agricultura [39].
3. Muito rentável – no processo de vermifiltração 100% dos materiais orgânicos são aproveitados e, os custos operacionais e capital são menores pois é um sistema de baixo consumo energético. Os produtos finais apresentam potencial de valorização. Vermicomposto nutritivo, efluente vermifiltrado para uso agrícola e a biomassa das minhocas para usos industriais.

Considerando as grandes vantagens descritas, este processo aplicado no tratamento de águas residuais apresenta-se como boa opção, não tendo sido encontradas na literatura desvantagens consideráveis associadas ao processo.

Tendo em consideração o exposto, a vermifiltração parece ser um processo adequado a usar na região de Leiria, onde se encontram uma grande quantidade de explorações suinícolas, e todas dispersas umas das outras, e na maioria distantes dos meios de tratamento dos efluentes. Segundo a Federação Portuguesa de Associações de Agricultores (FPAS) o número total de suínos declarados como existentes, dados de abril de 2016, na zona centro é de 893 021 e no total nacional de 2 141 816 suínos [55].

Através da análise da informação, 13% da produção nacional de suínos provém de produções na bacia do Lis. Assumindo o número total de suínos, verifica-se que na bacia do Lis se encontram cerca de 278 436 suínos que, em comparação com o número de total de suínos na zona centro, é cerca de 31%. Tendo em conta a concentração tão elevada de suiniculturas numa pequena região e a dificuldade em que muitas suiniculturas se encontram para conseguir tratar os seus efluentes, nomeadamente pelos custos inerentes ao carregamento, transporte e eliminação destes, muitas acabam por fazer descargas ilegais nos sistemas de água. Isto tem levado à contaminação dos sistemas aquáticos da região, sendo já um caso de atenção geral que a Ribeira dos Milagres tem sido grandemente afetada por estas descargas. A grande carga orgânica (CBO₅, CQO), nutrientes (azoto, fósforo, nitratos e nitros) e carga microbiológica (contaminantes fecais)

leva à escassez de oxigénio nas águas e consequente eutrofização dificultando a vida aquática.

Torna-se assim importante dar uma alternativa de tratamento destes efluentes aos suinicultores de modo a que estas descargas sejam evitadas ou, considerando que muitos ainda poderiam continuar a fazê-lo, que estas tivessem um impacto reduzido no meio.

2.5 Hidroponia

A hidroponia é uma tecnologia que utiliza produtos químicos, materiais orgânicos e inorgânicos para cultivar plantas sem o uso de solo. Soluções aquosas compostas por elementos dissolvidos fornecem os macronutrientes e micronutrientes essenciais, e o recurso a oxigénio e a luz garantem as condições necessárias para o crescimento da planta. As raízes das plantas absorvem os nutrientes que podem ser fornecidos por métodos diferentes. Alguns sistemas hidropónicos envolvem a suspensão das raízes em soluções líquidas outras técnicas lavam ou borrifam as raízes periodicamente com soluções, com ou sem o uso de um meio inerte como cascalho, vermiculite, fibra de coco, lã da rocha, etc., para suporte mecânico. A prática tem ganho popularidade, devido aos seus métodos relativamente simples, e por não haver possibilidade de contrair doenças associadas ao solo, insetos ou pragas, reduzindo ou eliminando, o uso de pesticidas e a toxicidade que lhes está associada. A hidroponia é praticada em estufas, onde a temperatura e a iluminação podem ser reguladas, ou ao ar livre, onde com climas mais amenos representam poucos danos naturais às plantas [56], permitindo a produção de alimentos em todas as estações.

Normalmente o crescimento ocorre mais rapidamente em hidroponia do que no solo, porque as plantas investem a sua energia no amadurecimento em vez de competir por recursos, resultando em grandes rendimentos. As variedades cultivadas com sistemas hidropónicos são geralmente mais seguras para os consumidores do que as cultivadas no campo, porque sua exposição a doenças e químicos transmitidos pelo solo é minimizada [56].

Existem como base dois tipos de técnicas usadas na montagem de um sistema de cultivo hidropónico:

1. Técnica de cultura de jangada: os produtores colocam as plantas em plataformas perfuradas com orifícios para puxar as raízes, de modo que as raízes possam ser submersas em poças de solução nutritiva nas quais as plataformas flutuam, Figura 3.
2. Técnica de flutuação dinâmica de raízes: as raízes mais próximas da planta são mantidas secas para que possam fornecer oxigénio à planta. As raízes inferiores estão constantemente expostas a soluções nutritivas e absorvem esses minerais e elementos para nutrir a planta, Figura 4.



Figura 3: Técnica cultura de jangada (fonte: <https://www.groho.pt/post/crie-o-seu-proprio-sistema-floating-hidroponia>)



Figura 4: Técnica de flutuação dinâmica de raízes (fonte: <http://aquaponicsgetdes.blogspot.com/2017/10/nutrient-film-technique-nft-hydroponic.html>)

Os sistemas necessitam ainda de ter uma boa oxigenação, geralmente através de bombas de arejamento, das soluções nutritivas para que as raízes sejam arejadas. É também essencial uma boa iluminação para desencadear a fotossíntese nas plantas, e assim garantir a fixação do carbono nos vegetais acima da superfície da solução [56].

A hidroponia pode ser incluída no grupo de sistemas de tratamento terciários tal como a vermifiltração seguindo um esquema semelhante ao apresentado na Figura 5.

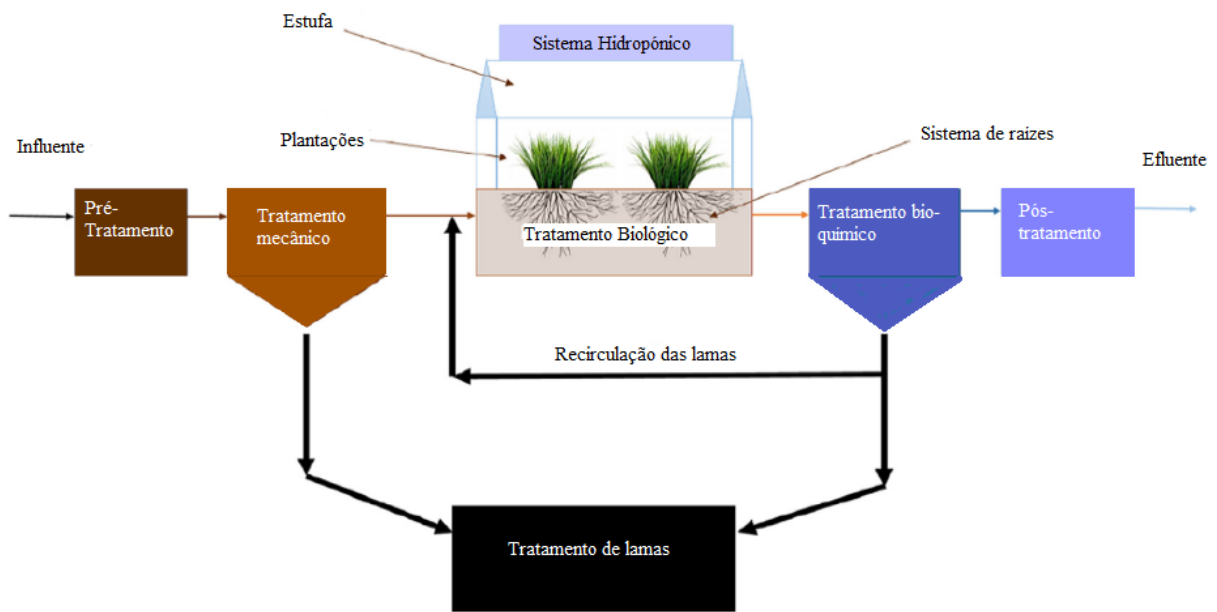


Figura 5: Esquema simplificado de um sistema hidropônico para tratamento de águas residuais (baseado em Magwaza et al. [44])

Geralmente, a classificação do sistema hidropônico adequado para tratamento de águas residuais em termos de remoção de nutrientes e poluentes é dependente de três fatores principais, a saber; o destino da drenagem da solução nutritiva (sistemas abertos ou fechados); como a solução nutritiva é entregue (seleção de substrato) e o tipo de biofiltros usados para remoção de nutrientes (seleção de cultura) [57]. São apresentados na Tabela 6 alguns resultados já obtidos em estudos realizados sobre este tema.

Em relação ao tipo de sistema de drenagem aberto (drenagem livre) ou fechados (recirculação) para o tratamento de águas residuais é preferencialmente usado o sistema fechado visto permitir uma redução mais eficiente das concentrações elevadas de nutrientes e contaminantes que estas possam ainda possuir [57].

Quanto à seleção de substrato os sistemas hidropônicos são divididos maioritariamente em dois tipos principais [58]:

1. Cultura de solução:
 - a. Técnica de filme de nutrientes (NFT);
 - b. Sub-irrigação passiva;
 - c. Sistemas de pavio;
 - d. Sistemas de gotejamento contínuo.
2. Sistemas de meio preenchidos:
 - a. Sistemas de crescimento de plantas;
 - b. Sistemas aeropônicos de crescimento de plantas;
 - c. Inundação e sistemas de drenagem;
 - d. Sistema de cultura estática;

e. Sistemas de cultura em águas profundas.

Tabela 6: Remoção de poluentes e nutrientes de vários sistemas hidropônicos influenciada pelo tipo de sistema hidropônico e seleção de planta (baseado em Magwaza et al. [57])

Origem da água residual	Sistema hidropônico	Substrato	Tipo de planta	Remoção de poluentes (%)			Remoção de nutrientes (%)		
				CQO	CBO	SST	N	P	K
Água residual municipal de tratamento primário	Fluxo horizontal	-	<i>D. innoxia</i>	82	91	98	93	38	-
Água residual doméstica	Sistema hidropônico	-	Espinafre de água	25,28	42,77	68,96	57,91	23,81	-
Água residual doméstica	Sistema hidropônico	-	Alface romana	37,36	82,31	89,42	66,76	47,62	-
Água residual de cervejaria	Jangada flutuante	-	Vetiver	58	73	97	58	63	-

No sistema hidropônico, a escolha das culturas desempenha um papel importante no processo de tratamento das águas residuais, não apenas pela absorção direta de nutrientes ou promovendo a atividade microbiana, mas também garantindo a aceitação e implementação deste tipo de tecnologia em áreas urbanas. No entanto, devido à singularidade deste sistema, não existe nenhuma metodologia específica disponível para selecionar plantas que sejam adequadas para hidroponia em sistema de águas residuais [57].

Legumes como tomate, pepino e alface e flores de corte são normalmente usados na produção hidropônica devido ao seu curto ciclo de crescimento permitindo melhor controle e padronização do processo de cultivo [57].

O uso de água residual em hidroponia nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, é abordado por vários autores [46][48], que apontam o seu uso como fertilizante no cultivo de alface, tomate, cevada, entre outros, como uma adição válida para consumo humano ou estética. Sistemas hidropônicos que utilizam água residual, são sistemas de duplo benefício, onde a água residual serve de fonte de nutrientes às plantas e é recuperada pela remoção do excesso de nutrientes através dos bioprocessos de produção agrícola.

Os aspetos negativos da hidroponia incluem custos associados à aquisição de equipamentos e suplementos. A automação e os sistemas computadorizados exigem

investimentos substanciais em equipamento, software e formação de pessoal que garanta a operação do sistema.

Neste estudo foram usadas como culturas, a alface - *Lactuca sativa* e a beldroega - *Portulaca oleracea L.* As alfaces por serem um vegetal de curto ciclo de crescimento e de poucas necessidades nutricionais e as beldroegas por serem plantas muito resistentes, apresentarem qualidade nutricional elevada com concentrações de β -caroteno, ácido ascórbico e ácido α -linoleico e de ácidos gordos essenciais [62].

Considerando que o efluente suinícola apresenta uma concentração elevada em substâncias dissolvidas, a seleção e o estudo do crescimento das plantas referidas, permite ter uma base de comparação que se crê interessante.

2.6 Enquadramento legal

A gestão dos efluentes agropecuários em Portugal segue o disposto no Despacho n.º 6312/2019 - Autoriza a AdP Energias - Energias Renováveis e Serviços Ambientais, S. A. (AdP Energias), a realizar os estudos técnicos e económico-financeiros necessários à criação de um novo serviço público destinado ao tratamento e à valorização dos efluentes agropecuários e agroindustriais [63]. Deste estudo surge a Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais (ENEAPAI) que tem como principal objetivo a valorização dos efluentes agropecuários e agroindustriais em contexto de economia circular.

As normas e critérios de qualidade da água em Portugal são definidas pelo Decreto de Lei n.º 236/98 de 1 de agosto para determinados usos, nomeadamente, rega, fins piscícolas, águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano e também Valores Limite de Emissão (VLE) na descarga de águas residuais [64]. Estes VLE são apresentados no Anexo A.

Sendo este um estudo que envolve efluentes agropecuários, será apropriada uma análise sobre os requisitos deste Decreto de Lei (DL) que visam a descarga de águas residuais e a utilização da água para rega bem como a possibilidade da sua reutilização para outros fins.

Para esta análise, e segundo o DL em questão, é considerado:

1. Água de rega – a água superficial ou subterrânea ou água residual que vise satisfazer ou complementar as necessidades hídricas das culturas agrícolas ou florestais;
2. VLE – massa expressa em unidades específicas para cada parâmetro, a concentração ou o nível de uma emissão de determinada substância que não deve ser excedido durante um ou mais períodos por uma instalação na descarga no meio aquático e no solo. Os VLE podem ainda se específicos para determinados

grupos, famílias ou categorias de substâncias, designadamente os referidos no anexo XIX do decreto-lei;

3. Valor máximo admissível (VMA) – valor de norma de qualidade que não deverá ser ultrapassado;
4. Valor máximo recomendado (VMR) – valor de norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido.

O DL veio estabelecer critérios e normas de qualidade para as águas destinadas a rega visando proteger a saúde pública, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, as plantações onde forem usadas e os solos onde estas seriam aplicadas protegendo a sua capacidade de cultivo. A Tabela 7 apresenta os VMR e VMA para os parâmetros referentes ao estudo em causa.

Tabela 7: Parâmetros para qualidade das águas para rega (baseado no Decreto de Lei nº 236/98 [51])

<i>Parâmetro</i>	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
<i>Nitratos (NO₃)</i>	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afetar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
<i>Sólidos Suspensos Totais (SST)</i>	mg/l	60		Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
<i>Zinco (Zn)</i>	mg/l	2,0	10,0	Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a pH6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
<i>Sulfatos (SO₄)</i>	mg/l	575		
<i>pH</i>	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	
<i>Coliformes fecais</i>	/100 ml	100		

Ao nível da proteção dos recursos hídricos pela descarga de águas residuais o DL apresenta normas a serem cumpridas nomeadamente as apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: VLE para descarga de águas residuais (baseado no Decreto de Lei nº 236/98 [51])

<i>Parâmetro</i>	Expressão de resultados	VLE
<i>pH</i>	Escala de Sorensen	6,0-9,0
<i>CBO5, 20°C</i>	mg/l O ₂	40
<i>CQO</i>	mg/l O ₂	150
<i>SST</i>	mg/ l	60
<i>Sulfatos</i>	mg/l SO ₄	2000
<i>Fosforo total</i>	mg/l P	10
		3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
<i>Azoto amoniacal</i>	mg/l NH ₄	10
<i>Nitratos</i>	mg/l NO ₃	50

Ainda a nível legal, é importante salientar também o Decreto-Lei nº119/2019 que se aplica à reutilização de águas provenientes de ETAR para rega [9]. Neste documento entende-se que o termo “Água para reutilização (ApR)” é água residual destinada à reutilização e que foi sujeita ao tratamento necessário para alcançar uma qualidade compatível com o seu uso final pretendido sem o deterioramento do meio recetor.

Este tipo de água residual sofre uma avaliação de risco tanto a nível da sua produção como depois para a sua utilização, tendo sempre em consideração a segurança e garantia de qualidade do meio recetor. Dependendo do tipo de utilização, os parâmetros a considerar na monitorização estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Parâmetros a monitorizar nas ApR em função do tipo de usos (baseado no Decreto-Lei nº119/2019 [9])

Utilização	Parâmetros
Rega - qualquer tipo	CBO5
	SST
	Turvação
	<i>E. coli</i>
	Azoto amoniacal
	Azoto total
Rega de espaços verdes públicos ou de culturas para consumo animal	Fósforo total
	Ovos de parasitas intestinais
Rega agrícola	SAR, salinidade
Rega agrícola em sistemas descentralizados em simbiose	Monitorização de parâmetros do risco para culturas agrícolas e proteção de recursos hídricos (e.g. nutrientes e/ou pesticidas)
Usos urbanos	pH
	CBO5
Usos industriais (uso com risco de contacto direto: ingestão acidental, e.g. gotículas e contacto dérmico)	<i>E. coli</i>

Considerando a utilização da água residual tratada para rega, os parâmetros e valores paramétricos a considerar na monitorização são dependentes dos vários tipos de rega. As diferentes classes e usos são apresentados na Tabela 10 e os parâmetros a serem monitorizados na Tabela 11 consoante o apresentado no DL respetivo [9].

Tabela 10: Classes de rega e respetivos usos (baseado no Decreto-Lei nº119/2019 [9])

Classe	Possíveis usos
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.
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).
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.
D	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia.
E	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso naturalmente restrito (e.g., sebes, áreas de contenção (prados em socacos).

Tabela 11: Parâmetros a cumprir para água de reutilização para a rega (baseado no Decreto-Lei nº119/2019 [9])

Classe de qualidade	CBO5 (mg/L O ₂)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (UFC/100 mL)	Ovos de parasitas intestinais (Nº/L)	Azoto amoniacal (mg NH ₄ ⁺ /L)	Azoto total (mg N/L)	Fósforo total (mg P/L)
A	≤10	≤10	≤5	≤10	-	10	15	5
B	≤25	≤35	-	≤100	-			
C	≤25	≤35	-	≤1000	≤1			
D	≤25	≤35	-	≤10000	≤1			
E	≤40	≤60	-	≤10000	-			

Ainda sobre a reutilização de água a APA também criou um guia para a reutilização de águas para usos não potáveis, seguindo as normas do Decreto-Lei nº119/2019, de modo a que este guia pudesse ser usado complementarmente com o decreto-lei [10].

3 Materiais e métodos

3.1 Montagem e preparação do sistema de vermifiltração

O vermifiltro é definido como um filtro biológico aeróbio de fluxo descendente e intermitente, composto por uma camada superior de substrato orgânico com minhocas de espécies detritívoras. A camada inferior pode ser composta por diferentes materiais granulométricos (como brita, seixo rolado e argila expandida) que permitem a drenagem do líquido clarificado até à tubulação de saída localizada no fundo do reator. O modelo do vermifiltro construído neste projeto é o apresentado na Figura 6, com uso de serrim e vermicomposto como cama das minhocas [65].

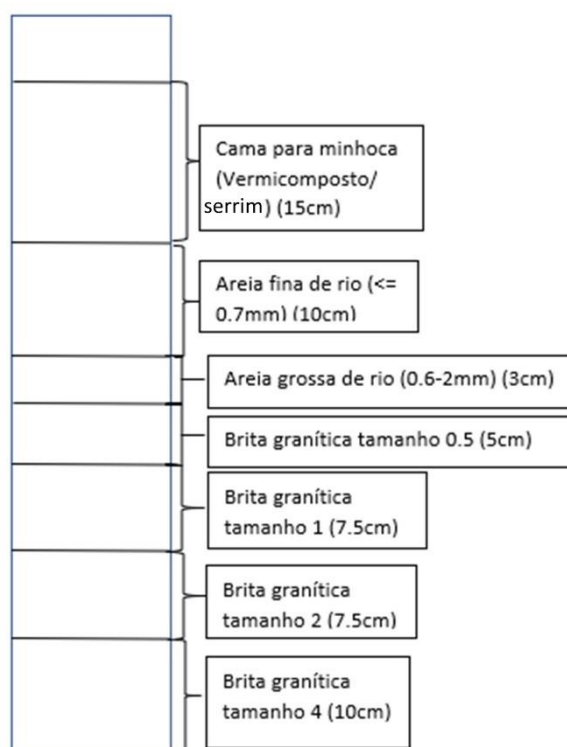


Figura 6: Configuração do vermifiltro (baseada na configuração proposta por Sinha et al. [21])

A preparação dos três vermifiltros usados neste estudo dividiu-se em múltiplas fases, onde a primeira foi focada na preparação do suporte para o vermifiltro e respetiva montagem. A base utilizada neste projeto foi a de três torres em PVC, cada uma com 90 cm de altura e 15,7 cm de diâmetro interno correspondendo a uma área superficial de $193,6 \text{ cm}^2$. Nas paredes laterais das torres foram efetuados furos com um distanciamento lateral de 7 cm e um distanciamento equivalente verticalmente de 7 cm, todos com um

diâmetro de 1,5 mm permitindo um melhor arejamento, e no fundo foi aberto um pequeno orifício para a drenagem do efluente tratado com 3 mm, Figura 7.



Figura 7: Torres com os furos e cortes feitos

As torres foram depois colocadas em bases de vasos onde foi feito um orifício de saída da água residual vermifiltrada para encaminhamento para depósitos, no caso, três caixas em PVC de 35L, Figura 8.



Figura 8: Montagem do sistema de recolha

Para a montagem do sistema de irrigação foram testadas várias configurações, em linha e em círculo, utilizando micro-tubo rígido de 4mm com o propósito de evitar acumulação de sólidos nos tubos e uma melhor distribuição de caudal com menor perda de carga.

Após diversas tentativas conseguiu-se chegar ao sistema final, apresentado na Figura 9, que se baseou numa distribuição em linhas paralelas para cada um dos vermifiltros com uma válvula de controlo de fluxo e uma curva a servir de gotejador. Este sistema foi o que se revelou mais eficiente na distribuição de caudal e de maior eficiência no seu controlo devido às válvulas colocadas. O uso de curvas de PVC como gotejadores permitiu que não houvesse entupimento por acumulação de sólidos como ocorria com tubo perfurado.



Figura 9: Sistema de irrigação final

Os materiais usados na preparação do vermifiltro (matriz) foram brita e areia granítica de rio e serrim ou vermicomposto como material para a cama das minhocas (suporte para minhocas).

Na Tabela 12 estão os materiais e as características das camadas usadas. A montagem final do vermifiltro é apresentada na Figura 10.

Tabela 12: Materiais usados na elaboração dos vermifiltros

Material	Diâmetro (mm)	Altura (cm)
<i>Brita 4</i>	22-45	10
<i>Brita 2</i>	16-22,4	7,5
<i>Brita 1</i>	5,6-16	7,5
<i>Brita 0,5</i>	2-6,3	5
<i>Areia grossa</i>	0,6-2	3
<i>Areia fina</i>	<0,7	10
<i>Serrim/Vermicomposto</i>	-	15

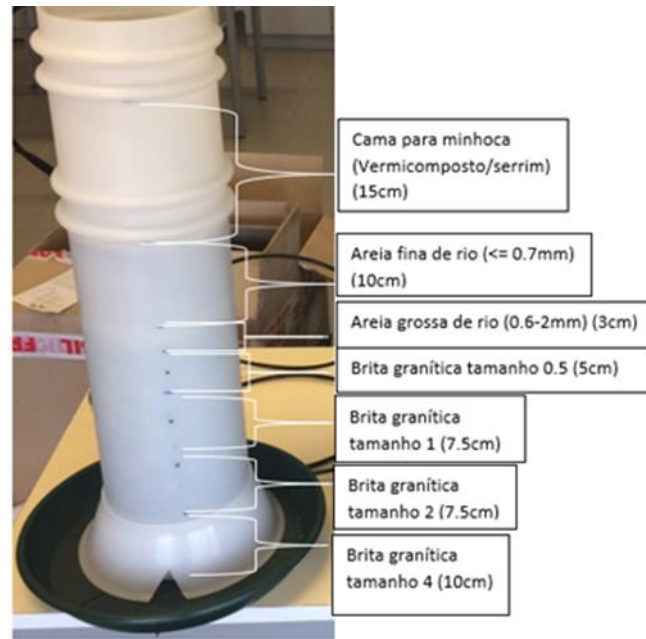


Figura 10: Configuração do Vermifiltro

O vermicomposto usado no projeto, da marca SIRO [66], obtido a partir de estrume de galinha e cavalo, com as características físico-químicas apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13: Características físico-químicas do vermicomposto

Características físico-químicas:	
<i>pH em CaCl₂</i>	7.0-8.0
<i>Condutividade</i>	1.9-2.3 mS/cm
<i>Matéria Orgânica</i>	>30%
<i>Humidade máxima</i>	40%
<i>Relação C/N</i>	17
Nutrientes disponíveis:	
<i>Carbono orgânico</i>	19%
<i>Azoto total (N)</i>	1.6%
<i>Azoto (N) orgânico</i>	1.1%
<i>Fósforo (P₂O₅)</i>	1.2%
<i>Granulometria</i>	0-25 mm
<i>Ácidos húmicos</i>	5.4%

O serrim utilizado foi obtido pela destruição de um briquete de madeira, com as características granulométricas apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14: Caracterização da granulometria do serrim

Amostra	Peso (g)	%
<i>>2mm</i>	78.95	45%
<i>1-2mm</i>	35.95	21%
<i>0.5-1mm</i>	29.75	17%
<i>0.25-0.5mm</i>	17.95	10%
<i><0.25mm</i>	11.65	7%

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos foi usada a fração mais fina do serrim <0,25 mm, Tabela 15

Tabela 15: Características físico-químicas do serrim

Características físico-químicas:

<i>pH em CaCl₂</i>	5.0-6.0
<i>Condutividade</i>	100-110 $\mu\text{S/cm}$
<i>Matéria Orgânica</i>	79%
<i>Humidade máxima</i>	20%
<i>Relação C/N</i>	-
<i>Nutrientes disponíveis:</i>	
<i>Carbono orgânico</i>	-
<i>Azoto total (N)</i>	0.24%
<i>Fósforo total (PO₄)</i>	0.53%

Foram testados 3 vermifiltros, que variaram na composição do material usado como suporte para a cama das minhocas, o vermifiltro 1 composto por serrim e minhocas, o vermifiltro 2 por vermicomposto e minhocas e o vermifiltro 3 com vermicomposto sem minhocas servindo de vermifiltro controle, Figura 11.



Figura 11: Vermifiltros 1, 2 e 3 e respectivas camas da esquerda para a direita

Para amortizar o impacto da altura de queda da água residual (cerca de 10 cm) foram colocadas na superfície do vermifiltro pedaços de garrafas de plástico de modo a que as gotas fossem amortecidas e distribuídas de forma uniforme, como se pode ver pela Figura 12.



Figura 12: Amortecimento da queda do efluente na superfície do vermifiltro

A densidade de minhocas adicionada aos vermifiltros foi de 10g/L de *Eisenia fetida*, nos estados juvenil a adulto, correspondendo a um peso total de 30g de minhocas por cama.

Ao iniciar o funcionamento do sistema este passou por um período de adaptação necessário para a aclimatização das minhocas ao efluente e ao próprio material das camas. Este período durou duas semanas durante as quais o caudal utilizado foi variável aumentando gradualmente de 10 mL/s para 0,18 mL/s correspondendo a um HLR final, com 0,18mL/s, de 803,33 L/m²dia no entanto no final da experiência a média de caudal para cada vermifiltro ficou em 0,14mL/s que correspondeu a um HLR de 624,95L/m²dia.

No arranque do sistema o efluente de entrada no vermifiltro foi diluído (1/100 v/v) utilizando água corrente isenta de cloro, diminuído até (1/10 v/v) mantendo-se assim no restante tempo de funcionamento. A diluição do efluente à entrada após o arranque do sistema foi feita por recirculação da água residual vermifiltrada.

A água residual usada foi proveniente de uma lagoa de deposição de uma suinicultura de ciclo fechado. A amostra de efluente foi recolhida com uma periodicidade quinzenal e armazenada no reservatório de recolha.

O efluente bruto após recolha e diluição (100x) foi colocado num reservatório de 125 L sujeito a agitação mecânica que permitiu a homogeneização do efluente diluído pronto a entrar no sistema. Para o aprovisionamento do sistema foi colocada uma bomba peristáltica ligada a um tubo Tygon standard com $\varnothing_{\text{interno}}=6,3$ mm e $\varnothing_{\text{externo}}=9,5$ mm, acima do reservatório, permitindo controlar o caudal de abastecimento do sistema. O sistema final é apresentado na Figura 13.



Figura 13: Funcionamento do sistema de vermifiltração

O sistema esteve em funcionamento durante 5 meses em recirculação. O funcionamento do sistema de recirculação consistia na recolha da amostra vermifiltrada e adicioná-la novamente ao reservatório de onde era extraída para passar novamente pelos vermifiltros. A água vermifiltrada era recolhida e posta em recirculação de 2 em 2 dias, sendo colocado novo efluente no início de cada semana e no dia anterior a cada recolha de amostras para caracterização.

A medição dos caudais nos vermifiltros foi efetuada pela medição do volume de efluente à saída do respetivo gotejador durante um período de 2 min. Ao longo dos dias os caudais foram variando, Tabela 16, tentando sempre mantê-los na ordem dos 0,18mL/s à exceção dos dias antecedentes a um fim de semana como é o caso dos dias 15 e 22 de fevereiro e 1 de março, em que o caudal teve de ser reduzido de modo a que o efluente não transbordasse dos coletores.

Tabela 16: Caudais medidos nos respetivos vermifiltros

	V1	V2	V3
	Caudais (mL/s)		
6.02.19	0.12	0.16	0.15
8.02.19	0.14	0.14	0.15
11.02.19	0.16	0.15	0.19
12.02.19	0.18	0.18	0.17
15.02.19	0.14	0.14	0.15
18.02.19	0.18	0.15	0.16
20.02.19	0.13	0.15	0.12
22.02.19	0.10	0.07	0.06
25.02.19	0.13	0.15	0.16
26.03.19	0.13	0.14	0.12
01.03.19	0.12	0.08	0.11
06.03.19	0.12	0.12	0.11
15.03.19	0.18	-	0.20

O dia 15 de março não apresenta valor para o V2, pois no dia anterior o vermifiltro colmatou e para que as minhocas se pudessem restabelecer, o sistema parou e não houve caudal de efluente para este vermifiltro durante 3 dias. Voltou a colmatar uma vez mais a 20 de março e a 17 de maio, data de paragem do sistema.

Os vermifiltros V1 e V3 não colmataram durante o período do estudo.

Nas últimas semanas de funcionamento do sistema foi montado um sistema hidropônico acessório. Para isso foi inicialmente desenhada e testada uma unidade piloto de hidroponia com arejamento recorrendo a uma bomba de arejamento. Foi usado como base um recipiente em PVC com uma capacidade de aproximadamente 20 dm³, uma placa *roofmate* de área aproximada de 17 dm², a qual foi perfurada para acomodar 6 vasos de plantas. O sistema vermifiltração-hidroponia acoplado encontra-se apresentado na Figura 14.



Figura 14: Sistema de hidroponia acoplado ao sistema de vermifiltração

Na tentativa de melhorar o arejamento nas raízes das plantas alterou-se o tipo de montagem da unidade, passando a ser constituída por vários recipientes, isto é, adaptaram-se 6 garrafas de água plásticas. Todas as garrafas eram de 33 cl nas quais foi cortado o topo e virado de modo a que a planta ficasse presa num orifício da tampa da garrafa com as raízes mergulhadas na água residual vermifiltrada, garantindo desta forma a recirculação de ar nas raízes. Além do arejamento já garantido pela parte da raiz exposta ao ar, foram ainda realizados furos junto à tampa da garrafa melhorando a circulação do ar, Figura 15.



Figura 15: Perfuração da parte superior das garrafas

Foram selecionados para o estudo cultivares de alface - *Lactuca sativa* e beldroegas - *Portulaca oleracea* L. A seleção das plantas baseou-se nas suas diferentes exigências nutricionais.

O crescimento das plantas foi testado com efluente tratado por vermifiltração para diferentes diluições: para as alfaces de (1/4 v/v) e de (1/2 v/v), para as beldroegas foram usadas (1/10 v/v), (1/5 v/v), (3/10 v/v), (2/5 v/v) e (1/2 v/v) tendo ainda um controlo onde foi usada água destilada, Figura 16. O sistema foi depois colocado junto à janela de modo a garantir que as plantas tivessem acesso à maior quantidade de luz solar possível.



Figura 16: Montagem do sistema de hidroponia para o cultivo de beldroegas e de alfaces

Para os ensaios de toxicidade foram colhidas folhas frescas das beldroegas e lavadas com água MilliQ (0,054 $\mu\text{S} / \text{cm}$) e liofilizadas durante 24h, a 150 mT, -47°C (Kinetics Ez-Dry EZ550R, c / bomba de vácuo Edwards 12). As folhas secas foram esmagadas em pó e dissolvidas em meio Eagle modificado da Dulbecco (DMEM) para a concentração de trabalho final.

A linha de células de adenocarcinoma de cólon humano Caco-2 foi adquirida na European Collection of Cell Cultures (ECACC, UK) na passagem 44. Foram usadas neste estudo Células Caco-2 com números de passagem elevados (90-100). As células foram cultivadas em frascos de cultura de 75 cm^2 e mantidas em glicose média alta de Eagle modificada por Dulbecco (DMEM, Sigma-Aldrich) (4500 mg/L de glicose com 2mM de L-glutamina, sem bicarbonato de sódio), suplementado com 10% de fetal bovino inativado por calor soro (FBS, Gibco), 1% de aminoácidos não essenciais (NEAA, Sigma-Aldrich) e 1% de penicilina (100 unidades/mL) - estreptomicina (10 mg/mL) (Sigma-Aldrich), a 37°C em atmosfera umidificada de 5% de CO_2 . As células foram subcultivadas em 80-90% de confluência, duas vezes por semana (em uma proporção de subcultura de 1: 8), usando uma solução de 2,5% (p/v) de tripsina-EDTA (solução 10x, Sigma-Aldrich). As células levaram 5 minutos para se separar dos frascos de cultura. As células foram semeadas a uma densidade celular de 1×10^4 nas placas de 96 poços para cada experiência onde foram testadas 3 concentrações (em quadruplicado) com valores de percentagem em massa/volume (m/v) de folha seca/liofilizada (5%, 10% e 15% m/v) em meio de cultura. Estas foram mantidas em cultura por 5 dias e o meio foi renovado no segundo dia.

3.2 Controlo do sistema

O controlo do sistema foi efetuado pela determinação dos parâmetros pH, Turvação, Condutividade elétrica (CE), Carência química de oxigénio (CQO), Carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), Nitratos (N-NO_3), Nitritos (N-NO_2), Azoto amoniacal (N-amoniacal), Fósforo total (P-total), Ortofosfatos (P-PO_4), Sólidos suspensos totais (SST), Sólidos dissolvidos totais (SDT), Zinco total (Zn), Coliformes totais e Coliformes fecais.

No final da experiência foram ainda realizados testes à viabilidade celular das folhas das beldroegas que cresceram no sistema de hidroponia. Foram realizadas 7 amostragens nos dias 13 e 27 de fevereiro, 13 e 27 de março, 10 de abril e 8 e 29 de maio com o sistema a funcionar sempre em contínuo. No entanto, ao demonstrarem sinais de sobredosagem nutricional, as alfaces tornaram-se murchas e amarelas, não se mostrando necessária a realização dos testes de viabilidade celular.

A caracterização foi feita para a amostra à entrada do sistema e à saída, recolhidas nos 3 vermifiltros no mesmo dia (a diferença entre a amostragem nos vários vermifiltros não ultrapassou os 30 minutos). As determinações foram realizadas no Laboratório aplicando os procedimentos de referência descritos no *Standard Methods* (2005) para os parâmetros pH, Turvação, CE, CBO_5 , N-NO_3 , N-NO_2 , N-amoniacal, P-total, P-PO_4 , SST, SDT e Zn, a Norma ISO 6060 para a determinação da CQO. Para a determinação de coliformes totais

e fecais foi usado o método de filtração por membrana com diluições da amostra (1/10 v/v) e (1/100 v/v) e em triplicado, com contagem das UFC em agar seletivo *ChromoSelect* (coliformes - colônias cor de rosa, *E. coli* – colônias cor azul/roxo escuro, e outras bactérias - colônias esbranquiçadas). O teste de confirmação para *E. coli* foi o teste reagente de Kovacs (*E. coli* -colônias cor de rosa).

O ensaio MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil-tetrazólio) foi usado para medir a viabilidade celular. O MTT foi adicionado às placas de 96 poços, que foram colocadas a 37°C. Após incubação durante 4 horas, o meio foi rejeitado e os precipitados foram dissolvidos com dimetilsulfóxido (DMSO). A absorvância foi detetada a 490 nm, usando um espectrofotômetro Genesys 10S UV-Vis.

A Tabela 17 apresenta os métodos usados para a determinação dos parâmetros avaliados.

Tabela 17: Métodos usados e precisão na determinação dos parâmetros

Parâmetro	Métodos	Precisão
pH	<i>SMEWW – 4500-H+ B. Eletrometric Method</i>	+/- 0.02 pH unit
Turvação (NTU)	<i>SMEWW – 2130 B. Nephelometric Method</i>	1-5% (0.02 - 100)
CE (µS/cm)	<i>SMEWW – 2510 B. Laboratory Method</i>	0.1-1% (0.1-1)
CQO (mgO2/L)	<i>Norma ISO 6060</i>	2-16% (4-50)
CBO5 (mgO2/L)	<i>SMEWW – 5210 B. 5-Day BOD Test</i>	2-13% (4-50)
N-NO3 (mgN/L)	<i>SMEWW – 4500-NO3- D. Nitrate Electrode Method</i>	2.5% (+/-0.4 mV)
N-NO2 (mgN/L)	<i>SMEWW – 4500 – NO2- B. Colorimetric Method</i>	2-3% (0.1-0.7)
N-amoniaco (mgN/L)	<i>SMEWW – 4500 – NH3 D. Ammonia-Selective Electrode Method</i>	1-11% (0.1-1000)
P-total (mgP/L)	<i>Método – SMEWW – 4500 – P E. Ascorbic Acid Method</i> <i>Digestão – SMEWW – 4500 – P B. 4. Sulfuric Acid-Nitric Acid</i>	2-4% (0.1-0.5)
P-PO4 (mgP/L)	<i>SMEWW – 4500 – P E. Ascorbic Acid Method</i>	2-4% (0.1-0.5)
SST (mg/L)	<i>SMEWW – 2540 D. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C</i>	0.5-4% (8-200)
SDT (g/L)	<i>SMEWW – 2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C</i>	0.5-4% (8-200)
Zn (mgZn/L)	<i>Método – SMEWW – 3111 B. Direct Air-Acetylene Flame</i> <i>Digestão – SMEWW – 3030 G. Nitric Acid-Sulfuric Acid Digestion Method</i>	n.d
Coliformes totais/fecais	<i>Filtração em membrana filtrante e incubação em meio seletivo</i>	n.d
Viabilidade celular	<i>Kit No 11465001 – Sigma-aldrich - Ensaio MTT</i>	n.d

4 Resultados e Discussão

Por limitações de tempo foi feita a caracterização do efluente recolhido na lagoa de estabilização da exploração suinícola apenas na 1.^a amostragem, dia 30 de janeiro, cujo resultados estão apresentados na Tabela 18. Pode verificar-se a elevada carga de matéria orgânica e sólidos presente no efluente.

Tabela 18: Caracterização do efluente da lagoa da exploração suinícola

Parâmetro	Efluente bruto
Turvação (NTU)	3394
Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	9000
pH	8.00
SST (mg/L)	1886
SDT (mg/L)	3083
P total (mgP/L)	159
P-PO ₄ (mgP/L)	34.0
N-amoniaco (mgN/L)	574
N-NO ₃ (mgN/L)	1.50
N-NO ₂ (mgN/L)	0.034
CBO (mgO ₂ /L)	149
CQO (mgO ₂ /L)	1997
Zn (mgZn/L)	91.9

No entanto, deve ter-se em consideração que a composição do efluente é bastante variável dependendo de várias condições: meteorológicas - lagoa a céu aberto, alimentação dos animais, estado de saúde destes, pois estando doentes terão de ser administrados antibióticos e outros fármacos, peso dos animais, entre outras.

É importante referir que considerando a composição do efluente, o mesmo não poderá ser usado diretamente para alimentar o vermifiltro, pois apresenta cargas elevadas de sólidos e/ou carga orgânica que provocam a colmatação do sistema, e pode ter efeito tóxico na atividade biológica quer das minhoca, quer dos microrganismos, nomeadamente pela falta de oxigénio e elevada condutividade, daí se ter procedido à sua diluição.

São apresentadas as Tabela 19 e Tabela 20 com os resultados das análises realizadas à entrada e saída dos vermifiltros.

A Equação 1 descreve a forma de cálculo da eficiência de remoção do vermifiltro para cada um dos parâmetros estudados.

Como se pode observar na Tabela 20 não existem valores para a saída do vermifiltro 2 para a última amostragem, devido ao facto do vermifiltro ter colmatado no dia 22 de maio que levou à sua paragem. Esta situação era de esperar, pois o mesmo vermifiltro colmatou numa situação anterior, dia 13 de março, onde após 2 dias sem entrada de efluente, as minhocas restabeleceram a sua atividade normal e o vermifiltro voltou a funcionar, mas foram notórias alterações de funcionamento.

A ocorrência desta situação permitiu concluir sobre a necessidade de substituição do vermicomposto nos vermifiltros que, de acordo com as características do sistema, nomeadamente a sua decomposição, o mesmo deverá ser substituído após 4 a 5 meses, nas condições deste estudo.

Em relação ao vermifiltro com serrim, este apresentou uma maior duração, no entanto no final do estudo já apresentava sinais de decomposição avançada pelo que se concluiu que o ciclo de substituição do serrim será de aproximadamente 5 a 6 meses, consoante o seu estado inicial.

A remoção de excesso de vermicomposto e a reposição de serragem são ações essenciais para a manutenção do reator sem que haja colmatagem do sistema [67] embora a literatura científica ainda não indique a periodicidade mínima necessária para essa prática.

Tabela 19: Caracterização do efluente à entrada e saída dos vermifiltros

Parâmetros	Amostragem															
	13.02.2019				27.02.2019				13.03.2019				27.03.2019			
	Entrada	V.1	V.2	V.3	Entrada	V.1	V.2	V.3	Entrada	V.1	V.2	V.3	Entrada	V.1	V.2	V.3
Turvação (NTU)	37.1	2.22	2.73	2.24	210	10.3	40.0	14.5	139	12.3	13.7	7.80	324	26.7	95.1	91.7
Cond. (µS/cm)	1995	1951	2884	2536	4110	3680	4215	4135	3680	3580	3700	3785	6070	5920	6165	6090
pH	7.15	7.32	7.95	7.90	8.10	7.23	7.93	7.44	7.18	5.12	6.86	6.70	7.63	7.58	7.66	7.48
SST (mg/L)	76.5	5.50	5.50	7.17	186	19.0	40.6	15.3	136	15.7	16.2	11.4	345	40.0	72.5	74.0
SDT (mg/L)	1452	1518	2612	2168	2490	2834	3254	3624	3508	3378	3952	4204	3925	4220	4850	4805
P-total (mgP/L)	3.80	6.69	9.87	9.39	12.2	10.6	8.57	11.3	32.3	20.7	18.6	22.5	22.4	11.7	12.2	15.4
P-PO ₄ (mgP/L)	3.15	4.30	7.82	7.80	4.57	9.47	7.15	10.8	10.7	15.4	13.3	15.1	4.65	10.1	6.73	8.80
N-amoniaco (mgN/L)	15.8	2.02	0.15	0.72	278	149	197	111	81.8	51.0	34.1	13.8	349	105	148	76.4
N-NO ₃ (mgN/L)	16.0	16.3	21.9	31.3	129	223	156	250	296	322	370	379	299	382	368	352
N-NO ₂ (mgN/L)	18.8	14.8	7.36	6.67	18.0	7.62	12.1	5.65	31.5	0.25	5.61	20.3	66.2	8.06	36.9	68.6
CBO (mgO ₂ /L)	62.2	16.9	10.7	12.8	-	51.0	-	111	156	18.0	40.9	34.4	272	62.9	87.0	81.2
CQO (mgO ₂ /L)	236	176	77	119	388	229	269	199	734	422	411	421	862	382	318	366
Zn (mgZn/L)	1.75	1.41	1.07	1.37	3.63	1.38	1.32	1.07	2.02	2.11	1.39	1.36	2.23	1.37	1.37	1.54

Tabela 20: Caracterização do efluente à entrada e saída dos vermifiltros (continuação)

Parâmetros	Amostragem											
	10.04.2019				8.05.2019				29.05.2019			
	Entrada	V.1	V.2	V.3	Entrada	V.1	V.2	V.3	Entrada	V.1	V.2	V.3
Turvação (NTU)	514	14.3	16.3	13.7	319	20.1	21.2	20.3	496	40.4		55.9
Cond. ($\mu\text{S/cm}$)	5395	5535	5810	5770	6555	6595	6850	6720	7505	7685		8185
pH	7.31	5.90	6.47	6.57	7.22	5.36	6.46	6.48	7.45	5.37		6.25
SST (mg/L)	590	36.7	34.0	27.7	346	29.8	32.0	29.3	458	77.5		144
SDT (mg/L)	15095	4405	4480	4645	4885	5815	6535	6255	4725	5770		6655
P-total (mgP/L)	34.6	51.3	41.8	20.5	9.9	43.1	30.8	25.5	31.8	26.4		31.4
P-PO ₄ (mgP/L)	23.3	48.1	33.1	20.4	9.33	41.0	29.1	24.5	10.4	20.0		20.5
N-amoniaco (mgN/L)	484	104	117	181	54.5	44.8	59.0	78.1	161	44.3		16.3
N-NO ₃ (mgN/L)	243	429	345	400	443	503	566	594	422	560		649
N-NO ₂ (mgN/L)	146	25.0	114	79.7	180	74.9	94.2	95.6	141	92.9		60.0
CBO (mgO ₂ /L)	84.7	9.15	14.1	11.3	84.4	15.3	10.3	22.1	68.2	35.0		24.8
CQO (mgO ₂ /L)	1266	385	445	415	1031	545	417	455	571	617		477
Zn (mgZn/L)	2.60	2.01	1.32	1.12	2.05	1.81	1.24	1.36	0.13	0.42		< Lq

Equação 1: Eficiência de remoção dos parâmetros analisados em relação ao efluente de entrada

$$\text{Eficiência de remoção} = \frac{\text{Concentração da saída}}{\text{Concentração da entrada}} \times 100$$

Considerando os resultados apresentados nas tabelas acima referidas e segundo o cálculo eficiência de remoção, verifica-se que os 3 sistemas apresentam uma boa eficiência global na remoção de CBO₅ na ordem dos 70% (valor médio), Figura 17.

Sendo que na segunda amostragem os valores de CBO não puderam ser determinados, uma vez que as diluições aplicadas à amostra não permitiram uma quantificação do teor OD final para as amostras da entrada e da saída do vermifiltro 2, valores inferiores ao LQ, pelo que não são admissíveis e, por isso, o valor de eficiência de remoção para esta amostragem não pode ser admitido, aparecendo no gráfico como 0%. O que se repetiu na última amostragem para o vermifiltro 2 como pode ser visto para a amostragem 7.

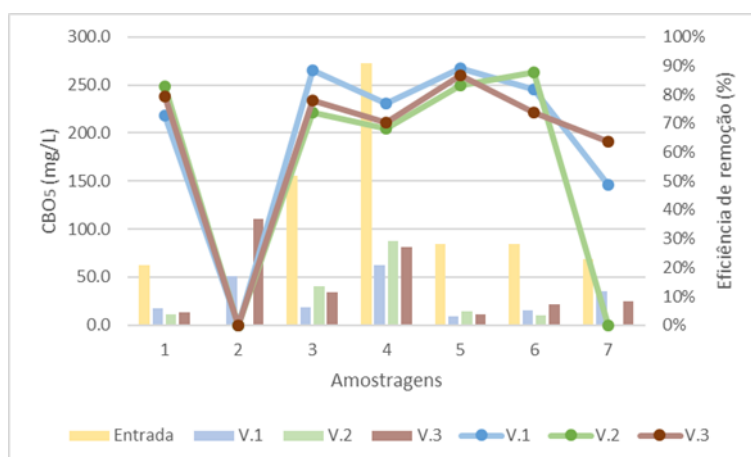


Figura 17: CBO₅ no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respectiva eficiência de remoção

Apresentam também uma boa eficiência de remoção de CQO na ordem dos 60% (valor médio) como apresentado na Figura 18. Sendo que na última amostragem, o vermifiltro 1 apresenta um valor de CQO superior à entrada; o mesmo acontece para o Zn, Figura 19. Estes dois picos podem ser justificados pela mortalidade das minhocas. Isto é, no último mês de funcionamento era notória a dificuldade de visualizar minhocas a circular pelo vermifiltro. O que foi comprovado aquando da desmontagem do sistema, cerca de duas semanas após a última amostragem, em que não foram encontradas minhocas no filtro. Esta taxa de mortalidade das minhocas pode estar associada a vários fatores; entre os quais uma possível falta de alimento fresco suficiente proveniente do efluente à entrada do sistema, associado a uma alteração do estado da lagoa na suinicultura. Esta tinha sido despejada e no momento da recolha, o efluente estava a um nível muito baixo, pelo que, as condições foram alteradas e possivelmente encontrava-se em condições anóxicas. Face

ao descrito, eventualmente a composição do efluente era bastante diferente e não adequada (sem possibilidade de adaptação) aos organismos vivos do sistema, além de poder conter outro tipo de bactérias, possivelmente prejudiciais ao sistema; outra possibilidade é o facto do efluente possuir uma elevada condutividade elétrica, >3,5 mS/cm, devido à recirculação da água vermifiltrada para diluição do efluente bruto, como se pode verificar na Figura 20 que associada a uma elevada concentração de nutrientes pode ser considerada letal para a *Eisenia fetida* [68].

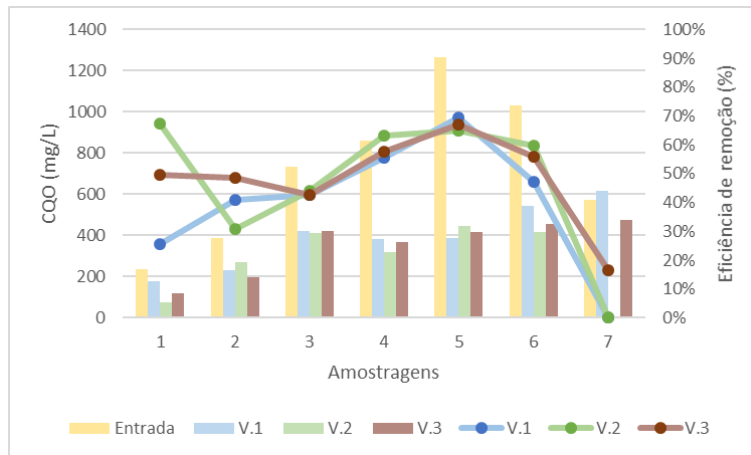


Figura 18: CQO no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção

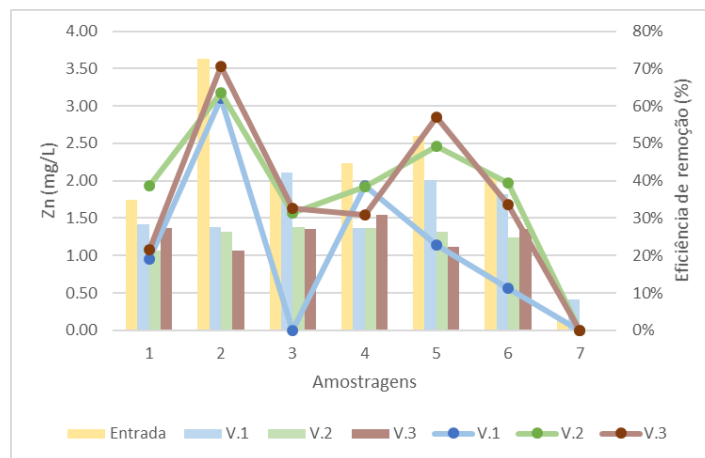


Figura 19: Zn no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção

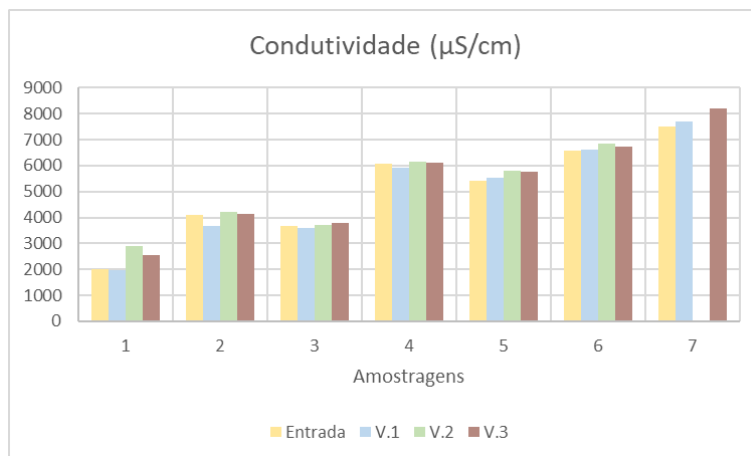


Figura 20: Condutividade em µS/cm durante as amostragens

Apesar das situações descritas, pode considerar-se que são bons resultados, podendo ser comparados às taxas de remoção de CBO e CQO obtidas em estudos realizados por Gupta [69]; Wang et al. [70] aplicados a águas residuais domésticas, em que foram atingidas taxas de remoção de CBO na ordem dos 90% e de CQO na ordem dos 80%.

Os sistemas apresentam também uma boa eficiência na remoção de sólidos suspensos totais (SST) na ordem dos 80%, Figura 21, que é corroborado pela remoção de turvação na ordem dos 90%, Figura 22.

Isso pode ser justificado pela alta capacidade de adsorção do serrim e do vermicomposto presentes no reator, aliados a uma intensa atividade microbiológica estimulada e acelerada pelas minhocas [21].

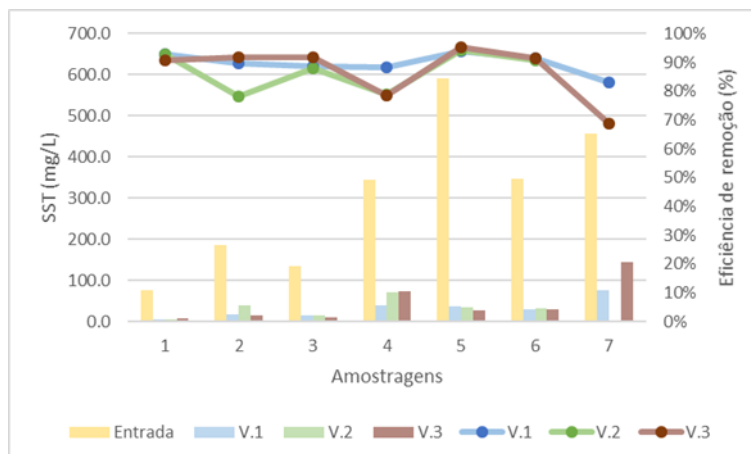


Figura 21: SST no efluente (entrada e saída do vermifiltro)

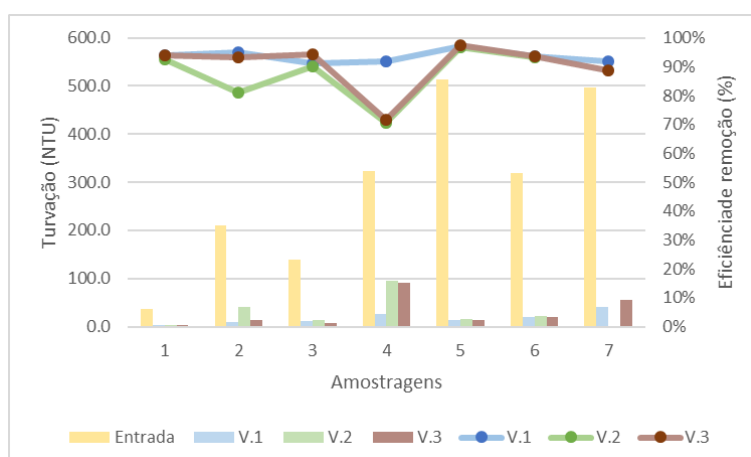


Figura 22: Turvação no efluente (entrada e saída do vermifiltro)

No entanto, os sólidos dissolvidos totais (SDT), aumentaram da entrada para a saída nos 3 vermifiltros, Figura 23, o que poderá estar associado a substâncias dissolvidas que resultam dos processos bioquímicos de transformação da matéria orgânica em compostos solúveis. Em comparação com a literatura estudos como Sharma et al. [36]; Sinha et al. [21] e Sinha et al. [71], todos apresentam uma elevada redução de SDT numa gama de 90-92% no entanto apesar de apresentar também uma elevada percentagem de redução de SDT Kumar et al. [46] consideram a ingestão de partículas por parte das minhocas que as escretam posteriormente em forma de partículas mais finas.

Considerando as remoções de matéria orgânica e de sólidos suspensos verificadas para os vermifiltros, ressalta-se que tais resultados se referem a um processo com uma única etapa de tratamento biológico. Ou seja, mesmo aplicando-se o esgoto diretamente nos vermifiltros, eles propiciaram remoções que variaram de 50% a 90% de CBO, de 40% a 70% de CQO, e de 6% a 95% de SST baseado na literatura encontrada sobre o tema.

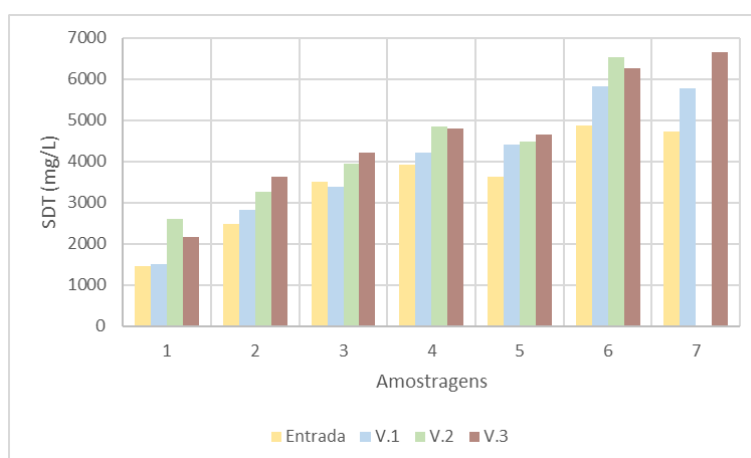


Figura 23: SDT no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respectiva eficiência de remoção

O pH foi um parâmetro que teve um comportamento muito semelhante durante todas as amostragens, Figura 24. Sendo que o serrim por apresentar um pH inferior ao vermicomposto a saída do vermifiltro 1 foi a que apresentou sempre um pH menor em relação à entrada e restantes saídas. Contudo os valores não variaram muito da gama do pH neutro, rondando os valores de pH 7. Que se revela estar de encontro com o intervalo de valores conhecidos para o caso, entre 6,9 a 7,4 [21][36][59].

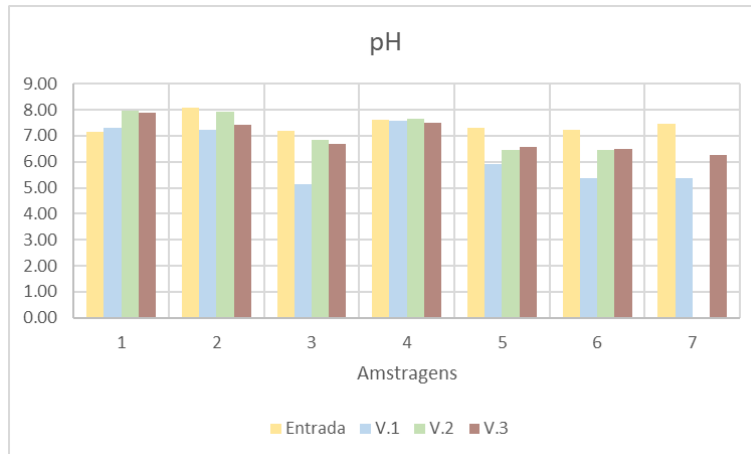


Figura 24: pH no efluente (entrada e saída do vermifiltro)

Em relação aos parâmetros de azoto, os sistemas apresentam uma boa eficiência de remoção do azoto amoniacal (N-amoniacal), com taxas de remoção variáveis entre os 40% e 80%, Figura 25, estando dentro do esperado tendo em conta outros estudos como Samal et al. [72], com remoção superior a 90% e Singh et al. [20], com remoções entre 59% e 96%.

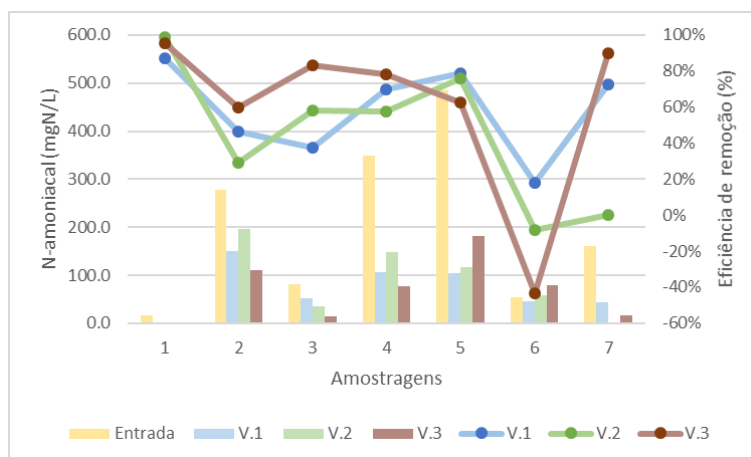


Figura 25: N-amoniacal no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção

No caso dos nitritos (N-NO₂) observa-se uma eficiência de remoção bastante variável de amostragem para amostragem, Figura 26, que se deve ao estágio do processo de nitrificação a decorrer no momento da amostragem; numa 1.^a etapa o azoto amoniacal é

convertido em nitrito e numa 2.^a fase os nitritos são convertidos em nitratos. Os nitratos (N-NO₃) aumentam da entrada para a saída, Figura 27, o que era de esperar, devendo-se ao processo natural de nitrificação, sendo que o valor da entrada é um valor relativamente elevado atendendo à recirculação da água tratada (saída) que apresenta teores elevados de nitratos, usada para diluição do efluente bruto.

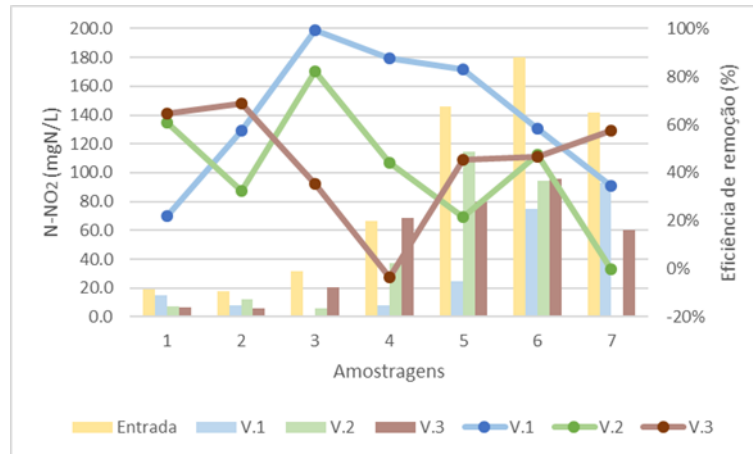


Figura 26: NO₂ no efluente (entrada e saída do vermifiltro) e respetiva eficiência de remoção

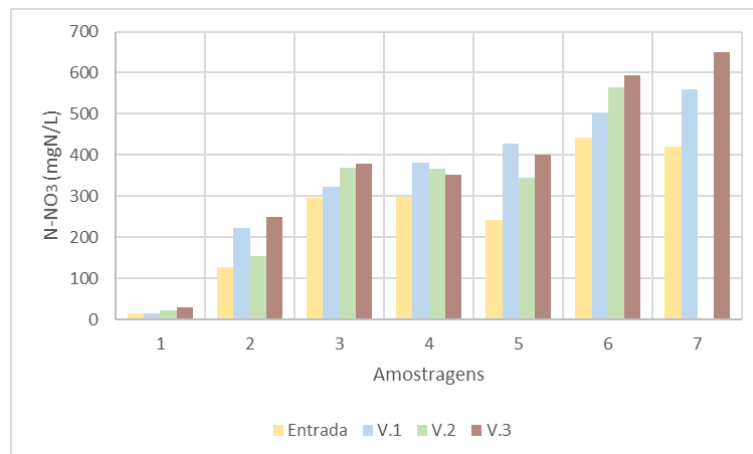


Figura 27: NO₃ no efluente (entrada e saída do vermifiltro)

Em relação a outros estudos, Jiang et al. [54], Kumar et al. [46] e Nie et al. [41], obtiveram percentagens de nitrificação mais elevadas, todos obtiveram valores acima de 80%, os respetivos afluentes brutos utilizados possuíam uma concentração de N-NH₄ na ordem de 10 a 40 mg N L⁻¹, o que poderá ser claramente inferior à concentração presente no efluente neste trabalho. Pode-se inferir, portanto, que o tempo de escoamento por gravidade através do biofiltro estabelece um patamar máximo de nitrificação, de modo que, se o afluente tiver elevadas concentrações de azoto amoniacal, haverá um excedente impossibilitado de ser oxidado.

Em relação ao fósforo, como é demonstrado pelos resultados apresentados nas Figura 28 e Figura 29, verifica-se que o teor de ortofosfatos (P-PO₄) da saída é superior ao de entrada. Tal pode dever-se ao facto de parte do fósforo total (orgânico e polifosfatos), contido na parte particulada da amostra, ser convertido pelos organismos do sistema em fósforo dissolvido que é detetado na forma de fosfatos, PO₄. Nos resultados do fósforo total (P-total), pode ver-se que no geral o seu teor é superior na entrada comparativamente à saída, o que poderá estar associado ao facto de muita da matéria particulada ficar retida nos sistemas sem ser bioprocessada, à exceção das amostragens 1, 5 e 6 onde a saída do vermifiltro 1 se mostrou superior à entrada. No caso da primeira amostragem pode associar-se este aumento à composição do serrim, que por ser ainda novo, pode ter levado a que parte do material particulado mais fino possa ter passado, levando ao aumento do teor de fósforo na saída. Em relação às amostragens 5 e 6 podemos associar o aumento à mortalidade das minhocas que, com a sua morte, libertaram todo o material já digerido e acumularam fósforo da própria biomassa.

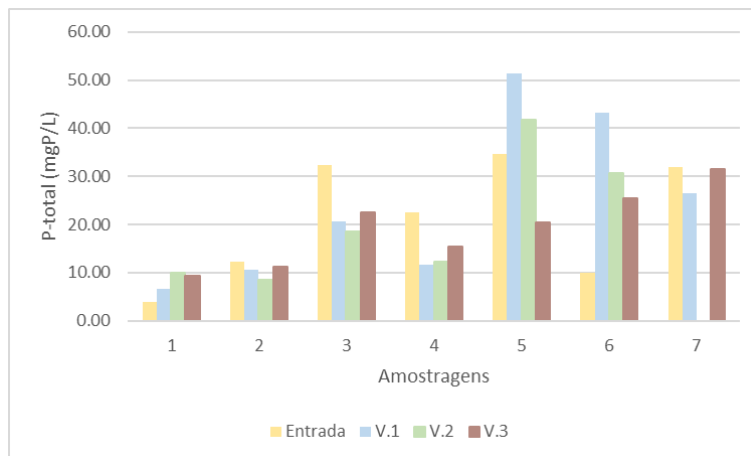


Figura 28: P total no efluente (entrada e saída do vermifiltro)

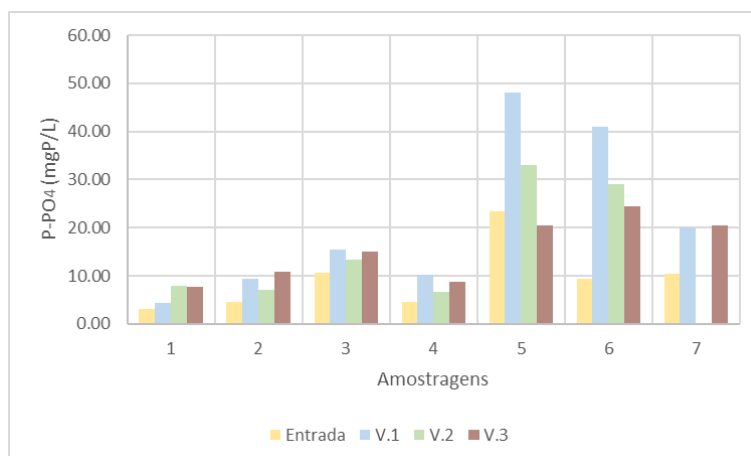


Figura 29: P-PO₄ no efluente (entrada e saída do vermifiltro)

Para além de se analisar a eficiência de remoção da matéria orgânica, sólidos e nutrientes, foi também estudada a remoção de organismos patogénicos, considerando a importância de garantir as condições de saúde pública, e assim não comprometer a possibilidade de reutilização do efluente tratado para a lavagem das instalações ou rega de espaços verdes.

A avaliação foi efetuada por determinação do teor de Coliformes totais e *E. coli*, cujos resultados se apresentam na Tabela 21

Tabela 21: Resultado das análises microbiológicas realizadas na amostragem de março 2019

<i>Amostra</i>	Data	UFC coliformes totais por 100mL	UFC E. coli. por 100mL
<i>Entrada V.</i>	01.03.2019	11 000	2 000
<i>Saída 1¹</i>	01.03.2019	-	-
<i>Saída 2</i>	01.03.2019	9 500	1 500
<i>Saída 3</i>	01.03.2019	24 000	7 000

Como se pode ver pelos resultados da Tabela 21, apesar de não ter sido possível obter dados da saída do vermifiltro 1, há uma diminuição de bactérias da entrada para a saída no vermifiltro 2, o que poderá demonstrar o carácter promissor da vermifiltração na remoção de agentes patogénicos, no entanto tendo o vermifiltro 3 apresentado um aumento seriam necessários mais testes para atestar esta hipótese.

Tabela 22: Resultado de análises microbiológicas realizadas na amostragem de maio 2019

<i>Amostra</i>	Data	UFC coliformes totais por 100mL	UFC E. coli. por 100mL
<i>Amostra Entrada V.</i>	08.05.2019	18000	10000
<i>Amostra Saída 1</i>	08.05.2019	49000	0
<i>Amostra Saída 2</i>	08.05.2019	30000	2000
<i>Amostra Saída 3</i>	08.05.2019	196000	0

¹ Houve arrastamento na placa impossibilitando a contagem das colónias

Os resultados da amostragem de maio de 2019, Tabela 22, são mais irregulares sendo que em todos houve aumento do teor de coliformes totais da entrada para a saída. Estes resultados poderão dever-se ao facto de, no caso dos vermifiltros 1 e 2, com a ocorrência de mobilização do material sólido existente pelas minhocas ter levado a que patogénicos que estivessem bloqueados ao longo do vermifiltro fossem arrastados, outra possibilidade seria pelo o facto da HLR ser baixa e ter levado à passagem de bactérias coliformes do efluente de entrada ao longo do leito sem ficarem sujeitos à ação das minhocas e ou baixa densidade de minhocas.

Devido as irregularidades de resultados, foi decidido verificar qual o teor de organismos patogénicos no efluente bruto (amostra fresca retirada da Lagoa) e se o tempo de permanência do mesmo no laboratório antes da entrada do vermifiltro reduziria significativamente o teor em microrganismos. Para isso foram analisadas as amostras de efluente bruto e efluente diluído em efluente vermifiltrado e obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Resultado do teste feito ao tempo de residência dos organismos patogénicos durante o seu armazenamento

Amostra	Data	UFC <i>E. coli.</i> por 100mL	UFC coliformes totais por 100mL
<i>Amostra bruta (AB)</i>	20.05.2019	6000	120 333
<i>Entrada V. (V)</i>	20.05.2019	0	6 000
<i>AB no V.</i>	20.05.2019	-	-
<i>AB no V. após 24h</i>	21.05.2019	667	18 000
<i>AB no V. após 72h</i>	23.05.2019	2000	16 000
<i>AB no V. após 7 dias</i>	28.05.2019	1000	2 000

Como se pode ver há uma notória diferença na quantidade de UFC tanto a nível de *E. coli* como de Coliformes totais, como seria de esperar, já que os mesmos resistem muito pouco após excreção, apresentando grande vulnerabilidade às condições ambientais, como luz e temperatura ou outros fatores (por exemplo: ausência de nutrientes, presença de compostos tóxicos).

Existe ainda outro fator que não foi possível testar neste trabalho que é a ação fúngica e antimicrobiana dos ácidos fúlvicos presentes no efluente vermifiltrado, este fator pode ter também ajudado à diminuição dos coliformes totais ao longo do tempo, no entanto, como referido, não foi possível realizar testes mais específicos para o comprovar. No entanto,

segundo estudos anteriormente realizados por Singh et al. [20] reportou-se a eficiência na redução de patogénicos pela atividade das minhocas e a sua interação com o meio, e ainda por Kumar et al. [38] que reportaram a não existência de coliformes no efluente vermifiltrado.

Com base nos aspetos positivos verificados, pode afirmar-se que a vermifiltração é viável tecnicamente para funcionar como sistema de tratamento de efluentes de suinicultura em explorações dispersas, necessitando ainda de ser complementada com um tratamento terciário ao efluente vermifiltrado de modo a conferir-lhe um potencial de reutilização para diversas finalidades. Não obstante, depreendeu-se deste estudo que a recirculação de água vermifiltrada para diluição do efluente suinícola bruto, apesar de tornar o sistema autossustentável, com uma excelente poupança de água, deve ser cuidadosamente gerida durante a diluição de forma a evitar que a condutividade do efluente a tratar suba para valores críticos que comprometa a atividade biológica existente, ou se torne letal para as minhocas.

Considerando que a carga de nutrientes no efluente vermifiltrado ainda é significativa, estudou-se a possibilidade de acoplar ao sistema de vermifiltração um sistema hidropónico para testar a possibilidade de redução da carga de nutrientes pela absorção dos mesmos pelas plantas, neste estudo, alfaces e beldroegas. As alfaces mesmo com diluições de 50% não apresentaram bons resultados com sinais de pouca viçozidade (folhas murchas e amareladas) ao fim de uma semana, Figura 30. As beldroegas por outro lado apresentaram bons resultados de crescimento ao fim de 1 semana, Figura 31.



Figura 30: Estado final das alfaces ao fim de uma semana



Figura 31: Estado final das beldroegas, diluições de (1/5 v/v) e (1/2 v/v), ao fim de uma semana

Considerando a importância de garantir a segurança dos produtos obtidos por hidroponia, nomeadamente os produtos hortícolas, foram realizados testes de viabilidade celular, no intuito de avaliar a resposta das células à presença de extratos de beldroega - ensaios celulares Caco-2. Os resultados indicaram, que para todas as concentrações testadas, as células apresentaram viabilidade celular muito próxima dos [90-100%] à das condições controlo, portanto, os extratos não se apresentaram tóxicos para as células (que simulam células do epitélio intestinal humano), como se pode ver pelos resultados apresentados na Tabela 24 e Figura 32.

Tabela 24: Resultados de viabilidade celular das células CACO-2, avaliada pelo teste MTT, quando submetidas à presença (6 horas de incubação) de diferentes concentrações de extrato de beldroega (folhas).

Amostra	% Viabilidade	Média Abs 490 nm	Desvio Padrão
Controlo (0 % m/v)	100,0	1,721	0,381
5.0 % (m/v)	91,7	1,579	0,254
10.0 % (m/v)	97,0	1,669	0,185
15.0 % (m/v)	93,8	1,614	0,267

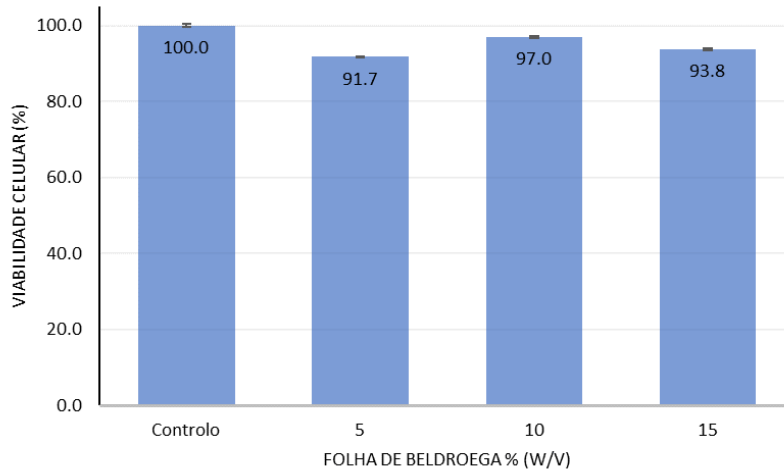


Figura 32: Viabilidade celular apresentada pelos extratos das folhas de beldroega

Os resultados indicam, embora de uma forma muito preliminar devido ao reduzido tempo de residência das plantas em hidroponia, que usando como meio de cultura o efluente vermifiltrado de suinicultura para o crescimento das beldroegas, este parece não contribuir para colocar em causa a possibilidade de consumo das plantas produzidas. Podendo constituir uma boa oportunidade para a sua valorização através da utilização em sistemas de hidroponia, cuja produção tem vantagens, nomeadamente como via de reutilização de efluente tratado. Desta forma, contribuir para práticas mais sustentáveis de reutilização de efluente tratado (água), que não passem só pela descarga em meios recetores, pela rega, lavagens de espaços nas explorações, mas também contribuam para a produção de alimentos e, assim tornar a atividade suinícola mais sustentável quer do ponto de vista ambiental quer económico.

5 Conclusões e Trabalho Futuro

O presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência de 3 vermifiltros com composição distinta no tratamento de águas residuais provenientes de suinicultura. Os 3 vermifiltros apresentaram uma boa eficiência de remoção de CQO, CBO, SST, N-amoniacal e Zn, destacando com melhor desempenho global o vermifiltro 1 (o que contém serrim como cama de minhocas). As experiências foram realizadas em sistema de recirculação de água vermifiltrada, tendo sido observadas conversões significativas no que se refere aos compostos inorgânicos oxidados obtidos (nitritos, nitratos e fosfatos), em todos os vermifiltros.

Ao nível da possibilidade de aplicação do efluente vermifiltrado, tendo em conta o disposto nos decretos Decreto-Lei 236/98 e Decreto-Lei 119/2019, o efluente vermifiltrado apesar de alguns dos parâmetros estarem dentro dos valores limite como os níveis de Zinco e pH, e em algumas das amostragens os níveis de SST e CBO₅, não se pode considerar que está em condições de admissibilidade para rega nem para descarga em meio recetor, razão principal associada à incerteza dos resultados dos testes aos coliformes fecais, que atendendo aos valores obtidos não cumpre o valor limite estabelecido.

No entanto a vermifiltração com recirculação adequada em modo contínuo apresenta resultados promissores no tratamento dos efluentes suinícolas, podendo vir a ser uma alternativa de tratamento, nomeadamente no tratamento secundário e terciário, para as explorações suinícolas da região, ainda que, como referido anteriormente, tenha de ser complementado com outras soluções de tratamento de modo a viabilizar o uso do efluente vermifiltrado para outros fins.

A produção de plantas por hidroponia usando o efluente vermifiltrado é uma possibilidade, tendo o presente estudo apresentado resultados promissores no crescimento de beldroegas. Podendo, assim, constituir uma boa oportunidade para a sua valorização através da utilização em sistemas de hidroponia. E desta forma contribuir para práticas mais sustentáveis de reutilização da água, que não passam só pela rega, lavagens de espaços nas explorações, mas também contribuam para a produção de alimentos e, desta forma tornar a atividade suinícola mais sustentável quer do ponto de vista ambiental quer económico.

Como trabalho futuro é sugerido testar um sistema de vermifiltração com a integração de um sistema hidropónico desde o início, de modo a haver uma recirculação constante entre o vermifiltro e as camas das plantas, e desta forma reduzir a condutividade elétrica, teor de fósforo e de nitratos na água vermifiltrada, melhorando desta forma a eficiência do vermifiltro com recirculação da água tratada. É também pertinente usar efluente fresco de modo a que os resultados possam ser mais consistentes, possibilitando também estudar de forma mais adequada a performance de redução de agentes patogénicos durante a vermifiltração.

Será ainda importante analisar a eficiência de remoção de SDT e de nutrientes associado ao tratamento por hidroponia.

Referências Bibliográficas

- [1] Y. Wada, M. Flörke, N. Hanasaki, S. Eisner, G. Fischer, S. Tramberend, Y. Satoh, M. T.H. Van Vliet, P. Yillia, C. Ringler, P. Burek, D. Wiberg, “Modeling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches,” *Geosci. Model Dev.*, vol. 9, no. 1, pp. 175–222, 2016.
- [2] F. and A. O. of the U. Nations, *The state of food and agriculture 2016*. Rome, 2016.
- [3] (United Nations World Water Assessment Programme) WWAP, “The United Nations world water development report 2019_ leaving no one behind - UNESCO Digital Library.pdf,” in *Leaving no one behind*, 2019.
- [4] B. Grizzetti, A. Pistocchi, C. Liqueste, A. Udias, F. Bouraoui, and W. van de Bund, “Human pressures and ecological status of European rivers,” *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, p. 6941, 2017.
- [5] A. Mazanik, “Industrial waste, river pollution and water politics in Central Russia, 1880–1917,” *Water Hist.*, vol. 10, no. 2–3, pp. 207–222, 2018.
- [6] A. Sayal, S. Amjad, M. Bilal, A. Pervez, Q. Mahmood, and M. Asim Afridi, “Industrial water contamination and health impacts: An economic perspective,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 25, no. 2, pp. 765–775, 2016.
- [7] V. Sergi, C. Nicole, M.-V. Alberto, and D. S. Adolfo, “Impact of urban and industrial sewage discharges on the trophic ecology of two wild native cyprinids in a Mediterranean stream,” *Front. Mar. Sci.*, vol. 2, 2015.
- [8] N. Ferri, “United nations general assembly,” *Int. J. Mar. Coast. Law*, vol. 25, no. 2, pp. 271–287, 2010.
- [9] *Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto, Presidência do Conselho de Ministros*.
- [10] J. C. Pimenta Machado, F. Quadrado, A. Rebelo, and A. Franco, “Guia para a Reutilização de água para Usos Não Potáveis,” 2019.
- [11] I.- GPE, “Efetivo Suínicola,” 2019.
- [12] A. C. Fernandes *et al.*, “Water quality in Lis river, Portugal.,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 3, no. 12, pp. 7125–7140, 2012.
- [13] K. Samal, R. R. Dash, and P. Bhunia, “Treatment of wastewater by vermifiltration integrated with macrophyte filter: A review,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 2274–2289, 2017.

- [14] V. Anusha and K. M. Sham Sundar, "Application of Vermifiltration in Domestic Wastewater Treatment," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. (An ISO)*, vol. 4, no. 8, 2015.
- [15] N. Ghobadi, C. Ogino, and N. Ohmura, "Intensifying the Fermentation of *Aspergillus oryzae* in a Stirred Bioreactor Using Maxblend Impeller," *Open Chem. Eng. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 88–109, 2016.
- [16] Y. S. Li, P. Robin, D. Cluzeau, M. Bouché, Q. P. Qiu, A. Lapalanche, M. Hassouna, P. Mourand, C. Dappelo, J. Callarec, "Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: Monitoring methodology on an experimental farm," *Ecol. Eng.*, vol. 32, no. 4, pp. 301–309, 2008.
- [17] J. Liu, Z. Lu, J. Yang, M. Xing, and F. Yu, "Ceramsite-vermifilter for domestic wastewater treatment and reuse: An option for rural agriculture," *2009 Int. Conf. Energy Environ. Technol. ICEET 2009*, vol. 2, pp. 472–475, 2009.
- [18] N. Lourenço and L. M. Nunes, "Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater," *Ecol. Eng.*, vol. 100, pp. 138–146, 2017.
- [19] M. M. Manyuchi, C. Mbohwa, and E. Muzenda, "Biological treatment of distillery wastewater by application of the vermifiltration technology," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 25, pp. 74–78, 2018.
- [20] R. Singh, P. Bhunia, and R. R. Dash, "A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance," *J. Environ. Manage.*, vol. 197, pp. 656–672, 2017.
- [21] R. K. Sinha, G. Bharambe, and U. Chaudhari, "Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: A low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization," *Environmentalist*, vol. 28, no. 4, pp. 409–420, 2008.
- [22] M. Taylor, W. P. Clarke, and P. F. Greenfield, "The treatment of domestic wastewater using small-scale vermicompost filter beds," *Ecol. Eng.*, vol. 21, no. 2–3, pp. 197–203, 2003.
- [23] M. Xing, F. Yu, J. Liu, and J. Yang, "Vermifiltration as a final-stage process for rural sewage purification in China," *2010 4th Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng. iCBBE 2010*, no. 09, pp. 1–4, 2010.
- [24] J. Yang, M. Xing, Z. Lu, and Y. Lu, "A decentralized and on-site option for rural settlements wastewater with the adoption of vermifiltration system," *2nd Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng. iCBBE 2008*, pp. 3023–3026, 2008.
- [25] (United Nations World Water Assessment Programme) WWAP, "The Wastewater

the Untapped Resource,” Paris, 2017.

- [26] *Portaria n.º 631/2009 de 9 de junho de 2009, Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.* 2009, pp. 3580–3594.
- [27] P. Chelme-Ayala, M. G. El-Din, R. Smith, K. R. Code, and J. Leonard, “Advanced treatment of liquid swine manure using physico-chemical treatment,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 186, no. 2–3, pp. 1632–1638, 2011.
- [28] I. L. P. Amendoeira, “Sistema de Gestão Integrado Sustentável de Efluentes Agro-Pecuários,” Instituto Superior Técnico, 2011.
- [29] M. & E. / Aecom, *Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery*, Fifth. New York: Mc Graw Hill, Education, 2014.
- [30] A. G. Brito, J. M. Oliveira, and J. M. Peixoto, *Tratamento de água para consumo humano e uso industrial*, Segunda. Porto: Tipografia Lousanense, 2014.
- [31] A. P. Sincero and G. A. Sincero, *Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater*. Florida: IWA Publishing, 2003.
- [32] C. H. Burton and C. Turner, *Manure management - Treatment for sustainable agriculture*, 2nd ed. Silsoe - Silsoe Research Institute, 2003.
- [33] *Decisão de Execução (UE) 2017/302 Da Comissão de 15 de fevereiro de 2017.* 2017.
- [34] F. portuguesa de associações de Suinicultores, “Suinicultura e o Ambiente,” *Fed. Port. Assoc. suinicultores*, vol. 102, no. Seminário “A suinicultura e o ambiente,” p. 9, 2013.
- [35] R. K. Sinha, D. Valani, S. Sinha, S. Singh, and S. Herat, “Bioremediation of contaminated sites: A low-cost nature’s biotechnology for environmental clean up by versatile microbes, plants and earthworms,” *Solid Waste Manag. Environ. Remediat.*, pp. 1–72, 2011.
- [36] S. Sharma, A. Kumar, A. Pratap, and S. Padma, “Earthworms and vermitechnology - a review.,” in *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, vol. 3, no. Special Issue 2, 2009, pp. 1–12.
- [37] A. Bobade and K. A.-J. of C. Engineering, “The Use of Vermifiltration in Wastewater Treatment: A Review,” *Krishisanskriti.Org*, vol. 3, no. 2, pp. 164–169, 2016.
- [38] C. Kumar and A. K. Ghosh, “Fabrication of a vermifiltration unit for wastewater recycling and performance of vermifiltered water (vermiaqua) on onion (*Allium*

- cepa),” *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.*, vol. 8, no. 4, pp. 405–415, 2019.
- [39] R. Sinha, S. Herat, N. Karmegam, K. Chauhan, and V. Chandran, *Vermitechnology-The Emerging 21 st Century Bioengineering Technology for Sustainable Development and Protection of Human Health and Environment: A Review*, vol. 4, no. Special Issue 1. 2010.
- [40] P. Tomar and S. Suthar, “Urban wastewater treatment using vermi-biofiltration system,” *Desalination*, vol. 282, pp. 95–103, 2011.
- [41] E. Nie, D. Wang, M. Yang, X. Luo, C. Fang, X. Yang, D. Su, L. Zhou, Z. Zheng, “Tower bio-vermifilter system for rural wastewater treatment: bench-scale, pilot-scale, and engineering applications,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 3, 2015.
- [42] T. Kumar, A. Rajpal, S. Arora, R. Bhargava, K. S. Hari Prasad, and A. A. Kazmi, “A comparative study on vermifiltration using epigeic earthworm *Eisenia fetida* and *Eudrilus eugeniae*,” *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 14, 2016.
- [43] T. Kumar, R. Bhargava, K. S. H. S. H. Prasad, and V. Pruthi, “Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment,” *Ecol. Eng.*, vol. 75, pp. 370–377, Feb. 2015.
- [44] X. Meiyang, L. Xiaowei, and Y. Jian, “Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity,” *African J. Biotechnol.*, vol. 9, no. 44, pp. 7513–7520, 2010.
- [45] M. M. Manyuchi, L. Kadzungura, and S. Boka, “Vermifiltration of Sewage Wastewater for Potential Use in Irrigation Purposes Using *Eisenia fetida* Earthworms,” *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 78, no. JUNE 2013, pp. 538–542, 2013.
- [46] T. Kumar, A. Rajpal, R. Bhargava, and K. S. H. H. Prasad, “Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material,” *Ecol. Eng.*, vol. 62, pp. 77–82, 2014.
- [47] S. Arora and A. A. Kazmi, “The effect of seasonal temperature on pathogen removal efficacy of vermifilter for wastewater treatment,” *Water Res.*, vol. 74, pp. 88–99, 2015.
- [48] J. Yang and L. Zhao, “Wastewater treatment performance of earthworm biofilter with filter media of quartz sand and ceramic pellet,” *2nd Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng. iCBBE 2008*, no. 2003, pp. 3031–3034, 2008.
- [49] S. D. Ghatnekar, B. F. Mahavash Kavian, B. M. Santosh Sharma, S. S. Ghatnekar,

- B. S. Gautam Ghatnekar, and B. V Angela Ghatnekar, “Dynamic Soil, Dynamic Plant ©2010 Global Science Books Application of Vermi-filter-based Effluent Treatment Plant (Pilot scale) for Biomanagement of Liquid Effluents from the Gelatine Industry,” 2010.
- [50] S. Dhadse, S. Satyanarayan, P. R. Chaudhari, and S. R. Wate, “Vermifilters: A tool for aerobic biological treatment of herbal pharmaceutical wastewater,” *Water Sci. Technol.*, vol. 61, no. 9, pp. 2375–2380, 2010.
- [51] A. Rajpal, S. Arora, A. Bhatia, T. Kumar, R. Bhargava, A. K. Chopra, A. A. Kazmi, “Co-treatment of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage by vermireactor,” *Ecol. Eng.*, vol. 73, pp. 154–161, 2014.
- [52] X. Li, M. Xing, J. Yang, L. Zhao, and X. Dai, “Organic matter humification in vermifiltration process for domestic sewage sludge treatment by excitation–emission matrix fluorescence and Fourier transform infrared spectroscopy,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 261, pp. 491–499, 2013.
- [53] Patel Jatin, “Wastewater Treatment by Vermifiltration : A Review,” vol. VII, no. I, pp. 186–190, 2018.
- [54] L. Jiang, Y. Liu, X. Hu, G. Zeng, H. Wang, L. Zhou, X. Tan, B. Huang, S. Liu, S. Liu, “The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: A review,” *Bioresour. Technol.*, vol. 200, pp. 999–1007, 2016.
- [55] I.-GPE, “Declaração de existências,” 2016. [Online]. Available: [http://www.suicultura.com/images/upload/File/DES_Abril2016\(2\).pdf](http://www.suicultura.com/images/upload/File/DES_Abril2016(2).pdf).
- [56] E. D. Schafer Ph.D., “Hydroponics.,” *Salem Press Encyclopedia of Science*. 2018.
- [57] S. T. Magwaza, L. S. Magwaza, A. O. Odindo, and A. Mditshwa, “Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review,” *Sci. Total Environ.*, vol. 698, p. 134154, 2020.
- [58] M. Haddad and N. Mizyed, “Evaluation of various hydroponic techniques as decentralised wastewater treatment and reuse systems,” *Int. J. Environ. Stud.*, vol. 68, no. 4, pp. 461–476, Aug. 2011.
- [59] M. Adrover, G. Moyà, and J. Vadell, “Use of hydroponics culture to assess nutrient supply by treated wastewater,” *J. Environ. Manage.*, vol. 127, pp. 162–165, 2013.
- [60] R. Gaspar and C. Fonseca, “Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system,” *Agric. Water Manag.*, vol. 203, no. March, pp. 311–321, 2018.

- [61] L. Cifuentes-torres, L. G. Mendoza-espinosa, G. Correa-reyes, and L. W. Daesslé, “Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities,” *Water Environ.*, 2020.
- [62] A. Alam, A. S. Juraimi, M. R. Yusop, A. A. Hamid, and A. Hakim, “Morpho-physiological and mineral nutrient characterization of 45 collected Purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions,” *Bragantia*, vol. 73, no. 4, pp. 426–437, 2014.
- [63] *Despacho n.º 6312/2019, de 07 de outubro de 2019 do Ministério do Ambiente e Transição Energética e Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural - Gabinetes dos Ministros do Ambiente e da Transição Energética e da Agricultura, Florestas e Desenvolvement.* 2019, pp. 19374–19374.
- [64] *Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto de 1998, Ministério do Ambiente.*
- [65] N. Lourenço and L. M. Nunes, “Is filter packing important in a small-scale vermifiltration process of urban wastewater?,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 11, pp. 2411–2422, 2017.
- [66] “Cantinho das Aromáticas.” [Online]. Available: <https://www.cantinhodasaromaticas.pt/produto/siro-humus-minhoca-bio/>.
- [67] M. A. Oto and J. Tohá, “Ecological Wastewater Treatment.: Advanced Wastewater Treatment. Recycling and Reuse.,” *Recycl. end Reuse*, pp. 1091–1094, 1998.
- [68] G. (Institute for A. M. J. L. U. Benckiser, Ed., *Fauna in soil ecosystems: Recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production*, 10th ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997.
- [69] H. Gupta, “A Review on Effectiveness of Earthworms for Treatment of Wastewater,” *Int. J. Eng. Dev.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–4, 2015.
- [70] L. Wang, F. Guo, Z. Zheng, X. Luo, and J. Zhang, “Enhancement of rural domestic sewage treatment performance, and assessment of microbial community diversity and structure using tower vermifiltration,” *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 20, pp. 9462–9470, 2011.
- [71] R. K. Sinha, S. Herat, D. Valani, and K. Chauhan, “Earthworms – the environmental engineers: review of vermiculture technologies for environmental management and resource development,” *Int. J. Glob. Environ. Issues*, vol. 10, no. 3/4, p. 265, 2010.
- [72] K. Samal, R. R. Dash, and P. Bhunia, “Performance assessment of a *Canna indica* assisted vermifilter for synthetic dairy wastewater treatment,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 111, pp. 363–374, 2017.
- [73] *Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, Ministério do Ambiente.*

Anexo A

ANEXO XVI

Qualidade das águas destinadas a rega

Parâmetro S	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Nitratos (NO_3)	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade:				
CE	dS/m	1		Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.
SDT	mg/l	640		
SAR ⁽¹⁾		8		Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada.
Selénio (Se)	mg/l	0,02	0,05	Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais.
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/l	60		Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
Sulfatos (SO_4)	mg/l	575		
Vanádio (V)	mg/l	0,10	1,0	Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas.
Zinco (Zn)	mg/l	2,0	10,0	Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a $pH > 6$ e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
pH	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	
Coliformes fecais	/100 ml	100		
Ovos de parasitas intestinais	NA		1	

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

Figura A 1: Tabela de referência para os parâmetros de qualidade destinada a rega (adaptado de Decreto Lei 236/98)

ANEXO XVIII

Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais

Parâmetros	Expressão dos resultados	VLE (1)
pH (0)	Escala de Sorensen	6,0-9,0 (2)
Temperatura (0)	°C	Aumento de 3°C (3)
CBO ₅ , 20°C (20) (0)	mg/l O ₂	40
CQO (0)	mg/l O ₂	150
SST (0)	mg/l	60
Sulfatos	mg/l SO ₄	2000
Fósforo total	mg/l P	10 3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	10
Azoto total	mg/l N	15
Nitratos	mg/l NO ₃	50

Figura A 2: Valores limite de emissão para a descarga de águas residuais (adaptado de Decreto Lei 236/98)