



Diogo Miguel Antunes Almeida
Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

Reutilização de água residual em sistemas de hidroponia

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

Orientadora: Professora Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral, Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa

“Reutilização de água residual em sistemas de hidroponia”

Copyright © Diogo Miguel Antunes Almeida, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

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

Agradecimentos

Quero agradecer desde já à Professora Doutora Leonor Amaral por ter aceite, e possibilitado a realização da presente dissertação, bem como a disponibilidade ao longo do meu percurso académico na resolução de problemas.

Acima de tudo à minha família, por tudo!

Resumo

A crescente falta de água e poluição da mesma, bem como solos degradados têm se apresentado como um desafio enorme no que toca à produção de alimentos, quer em quantidade, mas sobretudo em qualidade de forma a fazer face ao crescimento da população que se tem verificado nas últimas décadas.

Uma mudança paradigmática na maneira como os alimentos são produzidos é necessária de forma a assegurar alimento para todas as pessoas no planeta. Novas tecnologias e novos processos são também essenciais de modo a produzir alimentos com qualidade, e ao mesmo tempo preservar os recursos valiosos oferecidos pela Mãe Natureza.

A partir desta dissertação é possível entender que tal é praticável: é possível produzir alimentos a partir de água residual tratada, para tal, são precisos força de vontade e conhecimento de forma a contrariar o paradigma existente no que toca à produção de alimento utilizando água residual. Vários exemplos foram analisados, e os dados mostram que é concretizável, permitindo assim de criar um futuro melhor. Alimentos com qualidade podem ser produzidos utilizando um meio que não o solo, sem recurso a fertilizantes químicos, atendendo a uma perspetiva de economia circular, onde os resíduos para alguns podem ser os recursos de outros.

Palavras-chave: Água residual; Hidroponia; Alimento; nexus água-alimentos, Sustentabilidade

Abstract

Water scarcity, pollution, and soil nutrient-depletion can be an enormous challenge in order to assure food, in quantity and mostly in quality due to the rapid population growth verified in the latest decades.

A shift in paradigm towards food production must happen in order to satisfy food for every person on the planet. New technologies and processes is needed in order to grow good quality food, and at the same time protect the valuable resources that Mother Earth gives us.

From this thesis we can understand that is possible to do that. We can grow food using treated wastewater. It is needed willing power and knowledge in order to counteract this paradigm which concerns on food growing using wastewater. Several examples were analysed, and data is shown that it is possible to work towards a better future. Secure food, it can grow from soilless medium and without using any chemical fertilizer, and with a circular economic perspective, what is waste for some might be a resource for others leading this way to a sustainable way of living.

Keywords: Wastewater; Hydroponic; Food; nexus water-food; Sustainability

Índice Geral

1	Introdução	1
1.1	Definição do Problema	1
1.2	Objetivos	2
2.	Estado da Arte	3
2.1	Desenvolvimento cronológico dos sistemas de tratamento de água residual	3
2.2	Riscos ecológicos e de saúde pública derivados da aplicação no solo de água residual	4
2.3	Hidroponia.....	4
2.4	Ambiente agrícola controlado (CEA)	7
2.5	Sistemas descentralizados de tratamento de água residual para reutilização	8
2.6	Reutilização de água residual em sistemas de hidroponia	11
3.	Diretrizes para reutilização de água residual	21
3.1	Organização Mundial de Saúde	21
3.2	Comissão Europeia	25
3.3	Decreto-Lei n.º 119/2019.....	28
4.	Conclusão	33
	Referências Bibliográficas	34

Lista de Figuras

Figura 2.1-Sistema Wicks	5
Figura 2.2- Cultura de água	5
Figura 2.4- Sistema de gotejamento	5
Figura 2.3- Sistema Ebb e fluxo	5
Figura 2.5- Sistema N.F.T.....	6
Figura 2.6- Sistema areponico	6
Figura 2.7-Sistema de tratamento localizado na cave do Solaire Building em Manhattan	9
Figura 2.8-Diagrama de um sistema individual residencial para reutilização de água cinzenta, e conexão com o sistema centralizado para o excesso da mesma e para água negra	9
Figura 2.9-Exemplo esquemático dos resultados de balanço de massas sem estação individual	10
Figura 2.10- Exemplo esquemático dos resultados de balanço de massas com estação individual de tratamento	10
Figura 2.11- Esquema do sistema coletor de urina e transporte para regiões agrícolas na Suécia	11
Figura 2.12- Representação esquemática de um sistema piloto de tratamento hidropónico em Israel.....	12
Figura 2.13- Esquema hidropónico em canal com e sem meio de cultura	13
Figura 2.14- Esquema hidropónico em barril com meio de cultura.....	13
Figura 2.15- Diagrama de balanço de massas diário da recuperação de nutrientes do AnMBR	16
Figura 3.1- Exemplo de opções para redução viral, de bactérias e protozoários patogénicos através de diferentes combinações de medidas que permitam atingir o objetivo baseado na saúde de $\leq 10^{-6}$ DALYs por pessoa e por ano.....	23

Lista de Tabelas

Tabela 2.1- Dados de performance do sistema hidropônico de acordo com a vegetação	14
Tabela 2.2-Rendimento da colheita por sistema e por planta	15
Tabela 2.3- Produção de biomassa por sistema e por planta (Fonte:Haddad et al., 2011)	15
Tabela 2.4- Características primárias da água residual	17
Tabela 2.5- Concentração de metais e metaloides, nutrientes, e peso da colheita fresco e seco	18
Tabela 3.1-Sumário dos riscos associados à utilização de água residual para irrigação	21
Tabela 3.2- Sumário dos riscos de infecção de rotavírus em diferentes cenários de exposição	22
Tabela 3.3- Objetivos baseados na saúde para a utilização de água residual na agricultura	23
Tabela 3.4- Critérios de classe de qualidade da água para irrigação agrícola.....	26
Tabela 3.5- Classes de qualidade da água para reutilização, usos agrícolas permitidos suas práticas	27
Tabela 3.6- Frequência mínima de monitorização de água para reutilização na irrigação agrícola	27
Tabela 3.7-Normas de qualidade de água de reutilização para rega	30
Tabela 3.8- Descrição das classes de rega — Usos e nível de tratamento adequado em função das várias classes de qualidade da água	31
Tabela 3.9- Parâmetros a monitorizar nas ApR em função do tipo de usos.....	32

Lista de acrónimos e abreviações

AnMBR	Anaerobic Membrane Bioreactor
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ApR	Água para reutilização
BAU	<i>Buisness-as-usual</i>
CBO	Carência bioquímica de oxigénio
CE	Comissão europeia
CEE	Comunidade económica Europeia
CEA	Controlled-environment agriculture
CQO	Carência química de oxigénio
CWA	Clean Water Act
DALY	Disability-adjusted life year
DG ENV	Directorate-General for Environment
ETAR	Estação de tratamento de água residual
HTL	Hydrothermal liquefaction process
JRC	Joint Research Centre
K	Potássio
MBR	Membrane Bioreactor
N	Azoto
NT	Azoto total
N.F.T.	Nutrient Film Technique
OD	Oxigénio dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Fósforo
PT	Fósforo total
PHW	Post-hydrothermal liquefaction water
QMRA	Quantitative Microbial Risk Assessment
SAR	Sodium adsorption ratio
SST	Sólidos suspensos totais
UE	União Europeia

1 Introdução

1.1 Definição do Problema

Devido aos diferentes modos de vida das populações e, por conseguinte, diferentes modos de utilização de água, bem como regulamentação e proteção desse mesmo recurso, quer em países industrializados, quer em países em desenvolvimento, quer em zonas urbanas, quer em zonas rurais, têm vindo a ser introduzidas pressões num recurso vital para a sobrevivência, não só das espécies que habitam o planeta, mas também para o planeta como o conhecemos. Segundo Alcamo et al. (2000), de acordo com o cenário *Business-as-usual* (BAU) 36.4 a 38.6 milhões de km² encontrar-se-ão sobre severo stress hídrico, e a população afetada rondará os 2.1 a 4.0 mil milhões de pessoas entre 1995 e 2025. É referido no documento produzido em 2006 pela Organização Mundial de Saúde que na primeira metade do século, situações de stress hídrico e escassez de água possam vir a afetar 40% da população mundial (WHO, 2006). É necessário ainda referir a competição sobre o recurso em questão quer para utilização doméstica, industrial, de lazer e agrícola, sendo que a última corresponde a cerca de 70% da utilização total do recurso, podendo esta ser captada em rios ou captações subterrâneas (Pedrero et al., 2010). Posto isto, outras fontes de água para uso agrícola devem ser exploradas, das quais a possibilidade de reutilização de água residual tratada com intuito de rega de culturas, quer se trate de agricultura convencional, biológica, hidroponia ou aquaponia. Desta forma é possível reduzir os volumes de água captados com objetivo agrícola, bem como o aproveitamento dos nutrientes existentes nas águas residuais, e ainda deste modo reduzir as descargas dos efluentes no meio recetor, bem como a melhoria da qualidade do mesmo aquando a descarga é efetuada (Pedrero et al., 2010). Contudo, questões de carácter fitossanitário, bem como de carácter social podem ser levantadas, servindo este estudo como uma revisão da problemática existente e ainda como fonte informativa a nível da mesma. Note-se ainda que, no início do milénio a Assembleia Geral das Nações Unidas adotou oito objetivos do desenvolvimento do milénio, sendo a primeira medida erradicar a pobreza extrema e a fome, e a sétima medida assegurar a sustentabilidade ambiental. Esses objetivos foram complementados pela mais recente agenda das Nações Unidas, com espectro de atuação até 2030, sendo 17 os objetivos de desenvolvimento sustentável. Como objetivo primeiro mantém-se a erradicação da pobreza, o segundo fome zero e agricultura sustentável, acrescentando a água e saneamento, cidades e comunidades sustentáveis e a vida na água, objetivo sexto, décimo primeiro o décimo quarto, respetivamente, ambos em conformidade com o objeto da presente dissertação. Deste modo, a reutilização de água residual na agricultura, é congruente com os objetivos apresentados para o milénio (WHO, 2006 & Nações Unidas, 2015).

1.2 Objetivos

Pretende-se com a presente dissertação, avaliar a fiabilidade, com base na bibliografia existente, bem como em projetos existentes, já decorridos ou a decorrer, a possibilidade de cultivar vegetais em sistema hidropónico, utilizando como fonte nutritiva água residual tratada. Analisou-se detalhadamente os regulamentos atuais existentes, a nível mundial, europeu e nacional. Com base neles é possível obter informações, acerca do tratamento mínimo necessário, parâmetros de controlo, licenças de utilização, bem como regras de boas práticas e restrições de uso, e ainda barreiras de proteção para a saúde pública e para o ecossistema quando utilizada água residual não só para uso agrícola, mas para outros usos, ainda que o cerne da dissertação seja o uso agrícola.

Sendo que a maior barreira social existente é relativa à saúde da população, é demonstrado com base em artigos, teses e projetos existentes, que é possível, desde que as melhores metodologias e tecnologias disponíveis sejam aplicadas, e desde que se verifique o bom funcionamento das mesmas, bem claro, como a ética dos utilizadores e produtores da água residual para reutilização, seja exímia. Posto isto, nos capítulos subsequentes, é apresentada uma revisão cronológica da utilização de água residual como fonte de nutrientes, os riscos associados, em que consiste a hidroponia, bem como feita uma análise bibliográfica da informação existente relativa ao nicho em questão.

2. Estado da Arte

2.1 Desenvolvimento cronológico dos sistemas de tratamento de água residual

A aplicação no solo de água residual como forma de gestão do recurso, segundo evidências históricas, remonta ao segundo milénio a.C., como é o caso da civilização Minoica, situada em Creta, durante a Idade do Bronze. A consciencialização por parte destas civilizações, no que toca a preservação da água é extremamente impressionante, tendo sido desenvolvidas técnicas de sistemas de drenagem de águas residuais e mesmo de tratamento, existindo evidências de tanques de estabilização e sedimentação em determinadas regiões, como por exemplo, Tyllisos, Phaistos e AgiaTriada villa, bem como uma exploração e uso eficiente dos recursos hídricos. Durante vários milénios, o solo, foi o destino final para o subproduto da atividade biológica humana. A utilização de dos resíduos líquidos da moagem da azeitona, também em épocas ancestrais, permitia a obtenção de maiores quantidades de feijão, quando hidratados com esse mesmo resíduo líquido, sendo que a utilização de águas residuais para o crescimento de culturas remonta a épocas distantes (Tzanakakis et al., 2007).

Já no século XII, a aplicação de águas residuais no solo como método de tratamento desapareceu, levando ao aparecimento de fossas usadas como tanques de sedimentação as quais permitiam a infiltração do sobrenadante líquido no solo (Tzanakakis et al., 2007).

Nos Estados Unidos, contudo, em 1890, com intuito de controlo de poluição e proteção da saúde pública foram criadas as conhecidas “sewage farms”, as quais foram expandindo pela Europa e outras partes da América. Este desenvolvimento revolucionário, surgiu quando no XVI, em Banzlau na Alemanha, eram utilizadas águas residuais para crescimento de culturas. O desenvolvimento do sistema convencional de tratamento de água residual nos finais do século XIX e principio do século XX, conduziu ao afastamento da aplicação no solo de água residual como operação de fim-de-linha (Tzanakakis et al., 2007 & Metcalf & Eddy, 1995).

Atualmente, a aplicação no solo de água residual é vista como uma medida complementar às estações convencionais de tratamento de água residual (ETAR), tendo como objetivo atual o aproveitamento dos produtos finais produzidos na mesma, podendo estes ser lamas estabilizadas e higienizadas, as quais são passíveis de serem aplicadas como corretivo orgânico, caso cumpram critérios de qualidade estabelecidos, ou água residual tratada, com objetivo de recuperar nutrientes essenciais à produção agrícola, atendo obviamente a parâmetros bacteriológicos, e químicos da mesma, ou até mesmo o aproveitamento do biogás para produção de energia elétrica passível de ser usada na própria estação de tratamento de água residual (ETAR) (Tzanakakis et al., 2007 & Oyama et al., 2010). De referir ainda, a possibilidade deste modo de reduzir os caudais de efluentes tratados descarregados no meio recetor, e ainda a melhoria da qualidade dos mesmos, os quais podem conduzir a problemas de eutrofização caso se verifiquem concentrações elevadas de nutrientes, como é o caso do azoto (N) e do fósforo (P). Com isto, é possível criar uma perspetiva para a futura gestão da água, sendo que a aplicação de água residual no solo surge novamente aquando em 1972 foi proposto o Clean Water Act (CWA), com vista à reutilização de água residual, bem como já foi referido a redução de caudais descarregados nas massas de água (Magwaza et al., 2020 & Usepa, 2002).

2.2 Riscos ecológicos e de saúde pública derivados da aplicação no solo de água residual

Apesar da crescente intenção de aplicação de água residual em campos agrícolas, com intuito de recuperação de nutrientes, convergindo assim aos objetivos da União Europeia (EU), referentes à economia circular e sustentabilidade, certas questões de carácter fitossanitário e social podem ser levantadas, podendo estas ser consideradas barreiras e fatores limitantes para que seja aceite a nível global. Preocupações essas, são o risco de contaminação da parte comestível com microrganismos patogénicos, devido à exposição da cultura com a água de irrigação (Oyama et al., 2010). Outra questão referida por Oyama et al. (2010) é referente à exposição dos trabalhadores, bem como risco de contaminação dos mesmos, aquando da utilização de água residual, para irrigação de culturas, sendo que a utilização de um sistema hidropónico deve ser projetado para possibilitar a redução desse mesmo risco inerente. De referir que, não só o risco para a saúde pública deve ser analisado, mas também os riscos de contaminação dos solos, bem como dos lençóis freáticos, sobretudo quando são utilizadas técnicas de irrigação como aspersão e irrigação a céu aberto, podendo os sistemas hidropónicos apresentar vantagens em relação aos últimos no que concerne a essas questões (Rosas, 2014).

Deste modo, têm vindo a ser desenvolvidas regras de boas práticas, e ainda parâmetros mínimos aplicáveis, por diversas entidades, como a Organização Mundial de Saúde (OMS), Comissão Europeia (CE) em conjunto com a Joint Research Centre (JRC) e a nível nacional a concretização das práticas sugeridas pelas entidades anteriores, para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de Agosto (OMS, 2006 & JRC, 2017 & Diário da República, 1.ª série, 2019).

Assim, tem-se contrariado o paradigma social, com base nas referências acima indicadas, convergindo também ao comunicado apresentado pela Comissão Europeia «Fechar o ciclo – plano de ação para a UE para a economia circular», no qual é referido a reutilização de água na agricultura como uma medida para aliviar pressões nos recursos hídricos, bem como reciclagem de nutrientes permitindo assim a substituição dos adubos sólidos (Comissão Europeia, 2015).

2.3 Hidroponia

A hidroponia é considerada das formas mais elementares de cultivo de plantas, permitindo obter elevados volumes de colheitas, em pequenas áreas em comparação com a agricultura convencional (Calabria, 2014). É uma prática milenar utilizada pelos egípcios, chineses e indianos há cerca de 4 000 anos (Haddad & Mizyed, 2011). O cultivo hidropónico é geralmente efetuado em estufas, em ambiente agrícola controlado (CEA), reduzindo o contacto com elementos desnecessários, passíveis de destruir as colheitas. Consiste no crescimento de plantas, num meio sem solo, onde os nutrientes necessários são fornecidos às plantas através de uma solução nutritiva, podendo esta ser água residual tratada, desde que cumpra os parâmetros químicos e bacteriológicos presentes na legislação em vigor, de modo a preservar a saúde da população (Haddad & Mizyed, 2011). Este sistema apresenta vantagens em relação à agricultura convencional no que toca à produção de folhas e raízes mais limpas e ausentes de pragas, bem como a não necessidade de rotação de culturas, como acontece na agricultura convencional, de forma a manter o terreno fértil (Haddad & Mizyed, 2011 & Calabria, 2014). É possível

também o controle de nutrientes nos sistemas, bem como parâmetros como pH e alcalinidade, os quais podem ser alterados de acordo com o estágio de crescimento, tornando-se deste modo um sistema mais flexível em comparação com outros sistemas agrícolas tradicionais. Com isto, apresenta uma pegada ecológica inferior em comparação com os mesmos sendo possível reduzir os volumes de água necessários e aumentar a produção das culturas. Apesar das vantagens existentes, este sistema apresenta também algumas desvantagens no que concerne aos custos de investimento de instalação, dada a utilização de bombas, luzes de crescimento, difusores de ar, e fertilizantes os quais têm custos energéticos de exploração associados (Haddad & Mizyed, 2011). Dada a proximidade entre as raízes, se uma planta adoecer, existe uma grande probabilidade de o sistema ficar comprometido, existindo a possibilidade da doença proliferar às restantes plantas (Calabria, 2014).

Existe uma grande variedade de sistemas hidropônicos, sendo eles sistemas Wicks (Figura 2.1), sistemas de cultura da água (Figura 2.2), Ebb e sistema de fluxo (Figura 2.3), sistema de gotejamento (Figura 2.4), sistemas Nutrient Film Technique (N.F.T) (Figura 2.5) e sistemas aeropônicos (Figura 2.6), podendo existir variações em cada um dos sistemas.

:

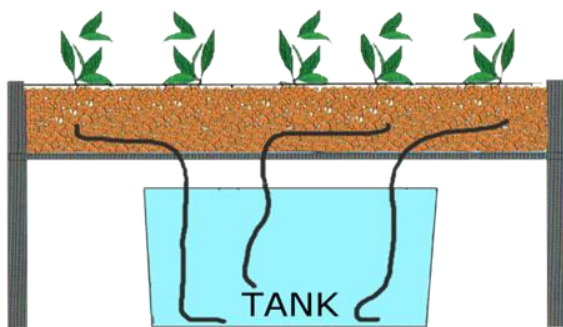


Figura 2.1-Sistema Wicks (adaptado GroHo)

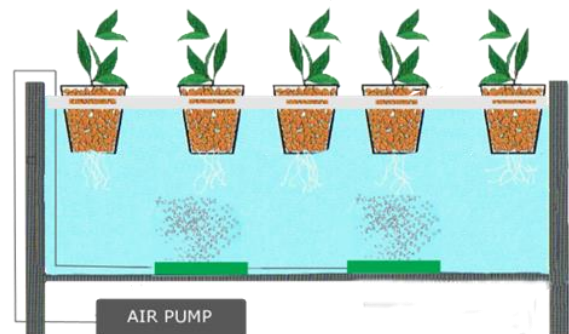


Figura 2.2- Cultura de água (adaptado GroHo)

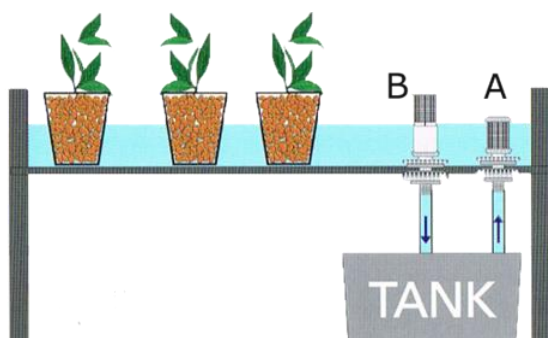


Figura 2.3- Sistema Ebb e fluxo (adaptado GroHo)

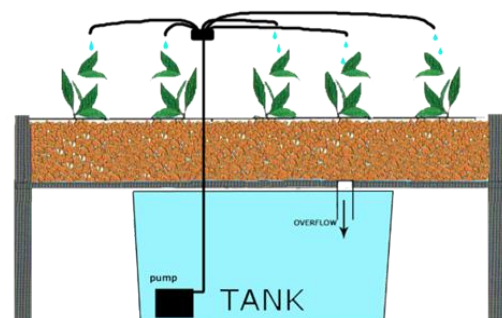


Figura 2.4- Sistema de gotejamento (adaptado GroHo)

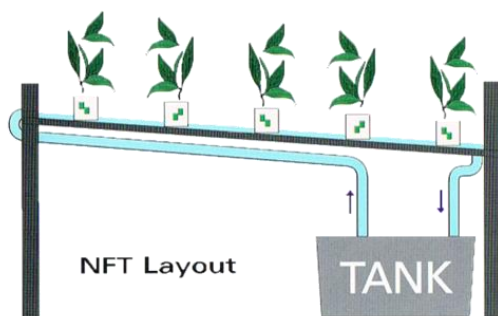


Figura 2.5- Sistema N.F.T. (adaptado GroHo)

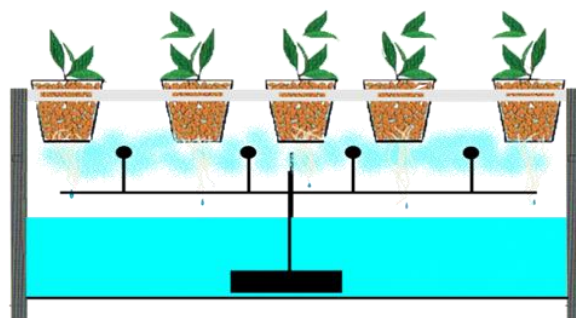


Figura 2.6- Sistema areponico (adaptado GroHo)

O sistema Wicks ou de capilaridade é considerado o mais simplista, que funciona com base na variação da pressão hidrostática. É um sistema passivo, visto não apresentar nenhuma parte móvel, sendo que a água flui até ao meio de cultivo, podendo este ser perlite, fibra de coco, argila expandida ou lã de rocha, através da pressão hidrostática. Já os sistemas de cultura da água são considerados sistemas ativos com partes móveis, sendo os mais simples dentro dos sistemas ativos. As raízes encontram-se submersas, na solução nutritiva, onde a oxigenação da mesma é feita com auxílio a difusores de ar. Já os sistemas Ebb e sistemas de fluxo, funcionam por ciclos de inundação e drenagem das raízes, processo este automatizado por uma bomba de água controlada por um temporizador. Os sistemas de gotejamento são sistemas de mergulho, nos quais como nos sistemas anteriores existe uma bomba de água e um temporizador que controla o fluxo da solução nutritiva, através de uma rede de jatos. Estes podem ser sistemas com recuperação ou não da solução nutritiva, sendo que no primeiro caso a solução regressa ao tanque de armazenamento, o que não acontece com o sistema sem recuperação, o que faz com que o pH da solução nutritiva não varie. No sistema de gotejamento com recuperação, o pH tem de ser ajustado. O sistema N.F.T. é o mais comumente utilizado, apresenta um fluxo constante de solução nutritiva, não sendo necessário por isso nenhum temporizador. Não necessita nenhum meio de crescimento, sendo que as raízes absorvem diretamente os nutrientes a partir da solução nutritiva, em fluxo descendente, o qual regressa ao reservatório, para que seja reciclado. Para o bom funcionamento deste sistema, uma bomba e manutenção elétrica é extremamente necessária para que não ocorram falhas no sistema e impeça que as raízes sequem, comprometendo assim as colheitas. Nestes sistemas a oxigenação é feita pela mistura de ar que se encontra por cima da solução nutritiva. Por fim os sistemas aeroponicos, sendo estes sistemas de alta tecnologia, nos quais o meio de crescimento é o ar. As raízes que se encontram em contacto com o ar, são pulverizadas geralmente em fração de segundos, através de um nebulizador ultrassónico, com uma determinada frequência, geralmente de dois mega-hertz (MHz), sendo este sistema controlado por um temporizador que regula a bomba da solução nutritiva, a cada dois minutos ou até mesmo a cada 15 minutos, dependendo do estágio da cultura (GroHo, 2019 & EcoCentre, 2018).

Como foi referido anteriormente, os sistemas hidropónicos, podem ser abertos ou fechados no que toca à recirculação ou não da solução nutritiva (GroHo, 2019). Os sistemas fechados são normalmente preferidos, visto terem a capacidade de reduzir os volumes de água utilizados, bem como a redução

efetiva da carga orgânica e nutritiva aquando a descarga da mesma no meio recetor. Desta forma são minimizados os efeitos adversos de descargas com elevadas concentrações de nutrientes, sobretudo azoto (N) e fósforo (P), o que pode conduzir à eutrofização das massas de água no local onde são efetuadas as descargas (Magwaza et al., 2020).

2.4 Ambiente agrícola controlado (CEA)

Como já foi referido anteriormente, o aumento da temperatura do ar, relacionadas com as alterações climáticas, e com estas alterações a perda de terrenos agrícolas, devido a episódios de cheias e tempestades, e secas extremas têm afetado de forma dramática as culturas agrícolas, bem como as produções obtidas. De referir ainda a contaminação de alimentos, com parasitas, como *ascaris*, vírus e bactéria, e protozoários, devido à aplicação de excrementos humanos em muitos locais como fertilizante, fatores que induzem à desnutrição, iliteracia e pobreza, sendo este o primeiro objetivo a alcançar no desenvolvimento do milénio (WHO, 2006). Os problemas sociais anteriormente referidos são consequência em grande parte de más práticas agrícolas, que produzem comida sem qualidade, sendo a alimentação a base para o bom funcionamento do corpo e da mente humana, permitindo de um modo sinérgico, o desenvolvimento da sociedade (Despommier, 2011). Posto isto, as tecnologias de estufa, permitem obter alimentos seguros e de forma consistente, independentes de fatores externos, com o caso das intempéries. Este sistema permite ainda a produção contínua ao longo do ano, podendo ser localizados, em locais urbanos.

A agricultura em ambiente controlado, é uma prática agrícola que tem como objetivo reproduzir o sistema natural com intuito de crescimento vegetal ou animal. Consiste em criar as condições ótimas para que as plantas ou os animais possam desenvolver-se. De forma a obter um controlo atmosférico desejado, este tipo de agricultura é sobretudo praticado em estufas, ou mesmo armazéns, nos quais a temperatura do ar, ventilação, concentração de dióxido de carbono (CO₂) e iluminação são controladas de forma rigorosa, servindo ainda de proteção climática (Calabria, 2014). A concentração nutritiva da solução, o pH, e a condutividade da mesma são também adaptados com intuito de experienciar maiores eficiências produtivas. No caso dos sistemas em hidroponia, este princípio agrícola apresenta diversas vantagens, sendo a redução de fertilizantes, redução de consumos de água, em cerca de 70% e em muitos casos até mesmo 90%, controlo eficiente de pragas e doenças, aumento da produtividade e aumento do período de produção sendo este possível durante 365 dias por ano e ainda a redução da área necessária em comparação com a agricultura tradicional de forma a obter a mesma quantidade produzida.

Novas abordagens no paradigma alimentar, tanto a nível tecnológico, como logístico são necessárias, sendo a criatividade uma característica importante para a criação de soluções para o problema. Pretende-se assim, reduzir a pegada ecológica do transporte de alimentos ao longo do globo, procurando, numa ótica sustentável, produzir e consumir localmente. A nível tecnológico, de referir a melhoria dos sistemas de tratamento de água de forma a permitir obtenção de melhores eficiências de aproveitamentos, tanto nutritivos como energéticos, bem como, uma implementação economicamente mais acessível, permitindo aumentar o número de sistemas descentralizados, o subtema que será abordado de seguida. A nível da hidroponia, propriamente dita, é necessário garantir a otimização do

processo, tanto a nível nutritivo, de iluminação, bem como de parâmetros climatéricos, passíveis de ser monitorizados e ajustados em ambiente agrícola controlado (CEA), permitindo desta forma a obtenção de comida com qualidade, e sobretudo em quantidade de forma a suprir as necessidades da população. A nível logístico, a possibilidade de ser implementado um sistema CEA numa estufa convencional, num edifício abandonado, em terraços de arranha-céus, a vários metros de profundidade, em túneis abandonados, ou até mesmo em estações espaciais é possível. Deste modo é possível reduzir drasticamente os milhares de quilómetros, e por consequência a pegada ecológica, associada ao transporte de alimentos e abastecimento de água têm ocorrido em diversas áreas metropolitanas, devido a diversos fatores, como o crescimento populacional e os movimentos excessivos de água de um local para outro, quer seja para satisfação das necessidades hídricas da população quer seja para utilização agrícola. (Leverenz & Tchobanoglous, 2012). A agravar estas situações as condições de seca presenciadas, induzem a conflitos entre os diferentes usos da mesma. Assim sendo, é evidente que uma utilização mais eficiente do recurso é essencial (Magwaza et al., 2020).

Para tal, é também necessária uma gestão das águas residuais de forma mais eficiente, sendo necessário ainda um melhor aproveitamento do potencial energético bem como uma melhoria na eficiência na recuperação de nutrientes.

A maior parte dos sistemas de drenagem e de tratamento, a partir dos quais a água é transportada e tratada é conduzida até um sistema centralizado a jusante, próximo de um local de descarga para o meio ambiente. Sendo que na maioria dos casos o ponto de descarga encontra-se afastado dos locais de potencial reutilização, essa possibilidade torna-se inviável desse modo. Uma alternativa passível de ser abordada seria o conceito de tratamento em estações individuais a montante e junto dos locais de reutilização, ou mesmo até no local onde é produzida. Estas estações de tratamento de pequena escala, permitem tratar uma habitação, um bairro ou uma pequena aldeia (Haddad & Mizyed, 2011 & Leverenz & Tchobanoglous, 2012 & Yerri & Piratla, 2019).

2.5 Sistemas descentralizados de tratamento de água residual para reutilização

Os sistemas de tratamento individuais consistem no tratamento de água junto ao local de produção e reutilização. Este tipo de sistema pode ou não, possuir uma unidade de tratamento da fase sólida, sendo que onde não existe, esta é transportada para a estação de tratamento centralizada localizada a jusante do local onde é produzida (Leverenz & Tchobanoglous, 2012). Podendo existir diferentes configurações de instalações, as consideradas mais eficientes para o efeito são as que possuem sistemas Bioreactores de Membranas (MBR) (Yerri & Piratla, 2019). Este tipo de sistemas pode ser aplicado quer para reutilização de água para irrigação como também para descargas de autoclismo, arrefecimento de equipamentos entre outros usos (Leverenz & Tchobanoglous, 2012). Exemplos de configurações passíveis de serem reproduzidas, são apresentados nas figuras 2.7 a figura 2.11)

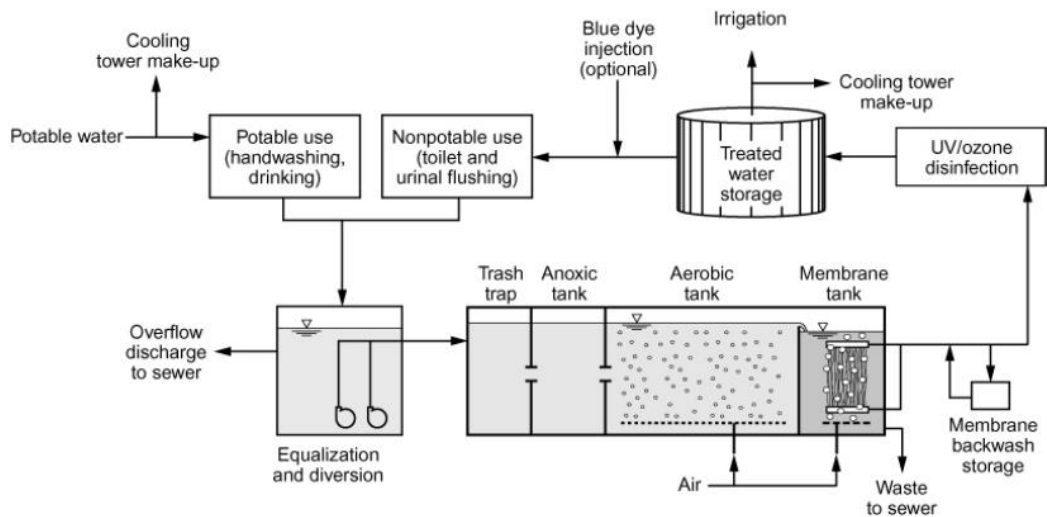


Figura 2.7-Sistema de tratamento localizado na cave do Solaire Building em Manhattan (Fonte: Leverenz et al., 2012)

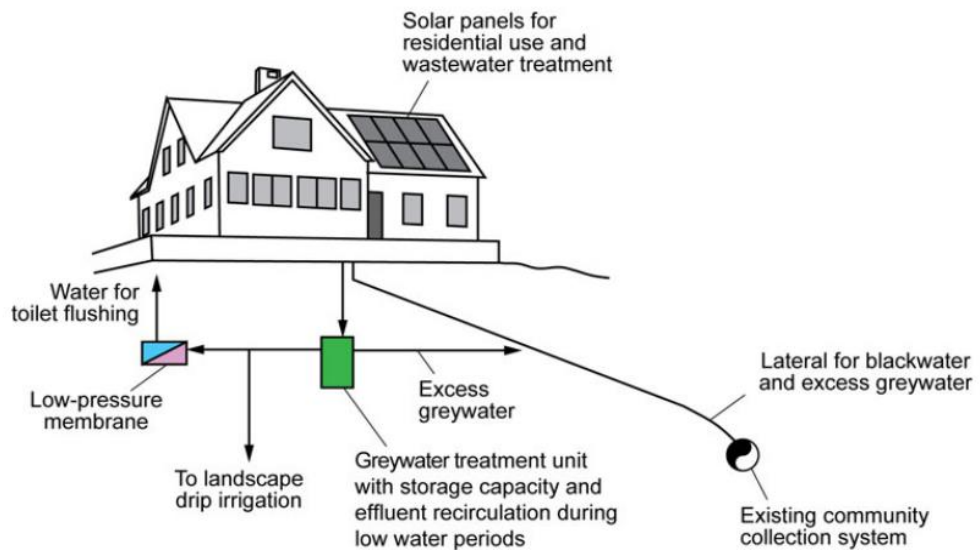


Figura 2.8-Diagrama de um sistema individual residencial para reutilização de água cinzenta, e conexão com o sistema centralizado para o excesso da mesma e para água negra (Fonte: Leverenz et al., 2012)

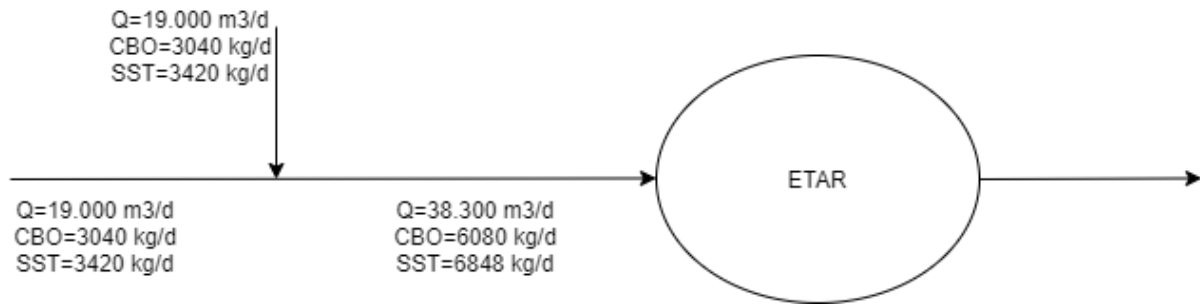


Figura 2.9-Exemplo esquemático dos resultados de balanço de massas sem estação individual (Fonte: Leverenz et al., 2012)

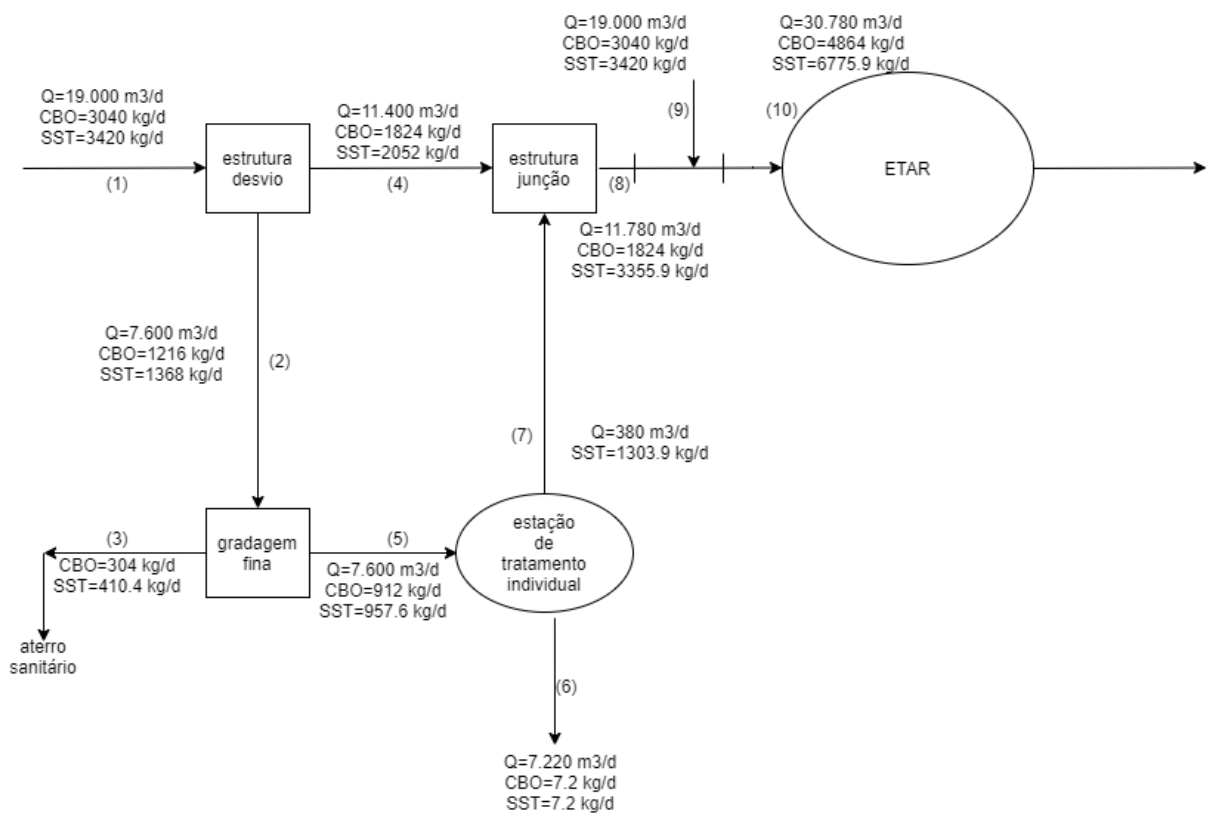


Figura 2.10- Exemplo esquemático dos resultados de balanço de massas com estação individual de tratamento (Fonte: Leverenz et al., 2012)

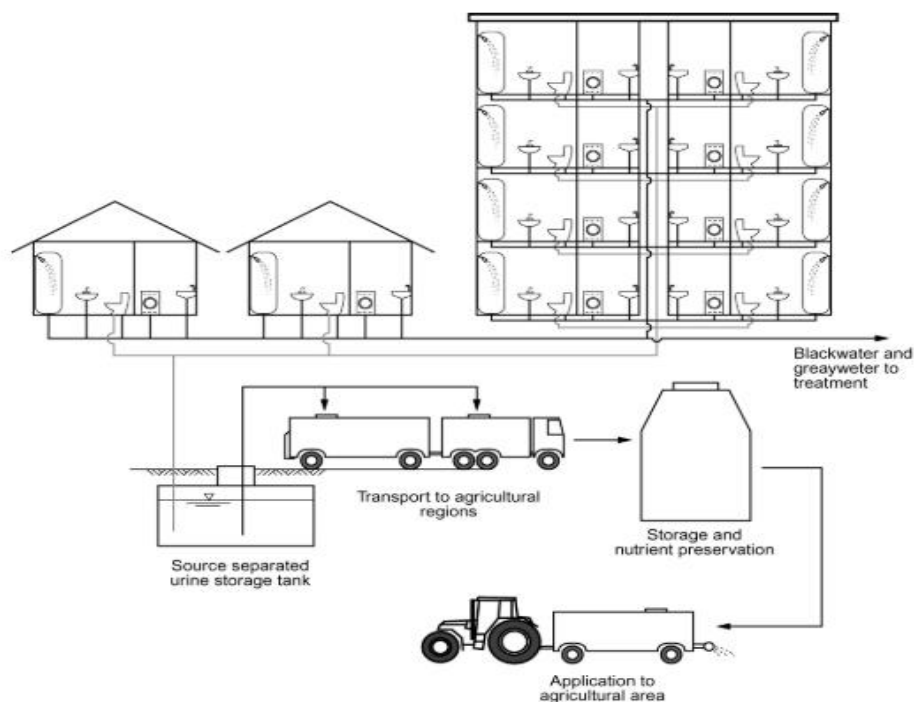


Figura 2.11- Esquema do sistema coletor de urina e transporte para regiões agrícolas na Suécia (Fonte: Leverenz et al., 2012)

2.6 Reutilização de água residual em sistemas de hidroponia

Atualmente a escassez de água em certas regiões do planeta e a crescente preocupação com o possível alastramento a outras regiões, tem incentivado a procura de novas fontes de água para atividades diárias, sendo essas domésticas, agrícolas ou industriais (Oyama et al., 2010 & Rosas, 2014 & WHO, 2006). O mesmo sucede com a diminuição dos terrenos cultiváveis (K. A, 2018). Em países nos quais guerras, e pobreza estão instalados, como no caso da Palestina, onde em grande parte não existe um sistema de tratamento de água para além das fossas sépticas, é necessário intervir e inovar, quer no âmbito da gestão do recurso bem como no modo de produção alimentar. No presente momento da escrita desta dissertação, acesso à rede de saneamento, água potável e alimentação nutritiva deviam ser garantidos (Haddad & Mizyed, 2011).

Uma alternativa possível, seria a reutilização de águas residuais, sendo esta uma fonte de nutrientes, como fósforo (P) e azoto (N), entre outros macronutrientes, essenciais para o crescimento das culturas. (Magwaza et al., 2020). Para que tal seja concretizável, a Organização Mundial de Saúde (OMS), a Comissão Europeia (CE) e a nível nacional a existência do Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto, tornam a reutilização da água residual com objetivo agrícola num tópico em expansão, desde que parâmetros definidos nesses documentos acima referidos sejam cumpridos, bem como as normas de segurança e monitorização (OMS, 2006 & JRC, 2017 & Diário da República, 1.ª série, 2019). No que concerne à falta de terrenos para cultivo agrícola, o cultivo hidropónico pode ser solução face a esse problema, podendo ser as hortas do futuro desenhadas em altura, as designadas *vertical farms*

(Despommier, 2011). Sendo assim, uma nova perspectiva emerge, na qual um cultivo que antes era projetado em área, ou seja, bidimensional é agora projetado em volume, tridimensional.

Deste modo, utilizando água residual como fonte nutritiva para o crescimento das culturas em meio hidropônico para além da redução do uso de recursos naturais, permite também limitar a degradação do ecossistema, visto ser possível com um sistema hidropônico a redução da carga orgânica presente na água residual, servindo assim, como tratamento complementar às estações de tratamento de água residual (ETAR) (Haddad & Mizyed, 2011). É possível deste modo, como já foi referido, aliviar as pressões quando feita a descarga da água de reutilização no meio recetor, sendo ainda uma possível fonte energética, apresentando-se este nicho um mercado com elevado potencial de exploração (Calabria, 2014 & K. A, 2018).

Um projeto piloto localizado no campus da An-Najah National University, localizada em Israel, consiste num decantador primário cónico, alimentado por água residual produzida no campus, onde as lamas são coletadas e drenadas, e uma estufa para a qual o efluente é conduzido e reutilizado, como se pode verificar na Figura 2.12.

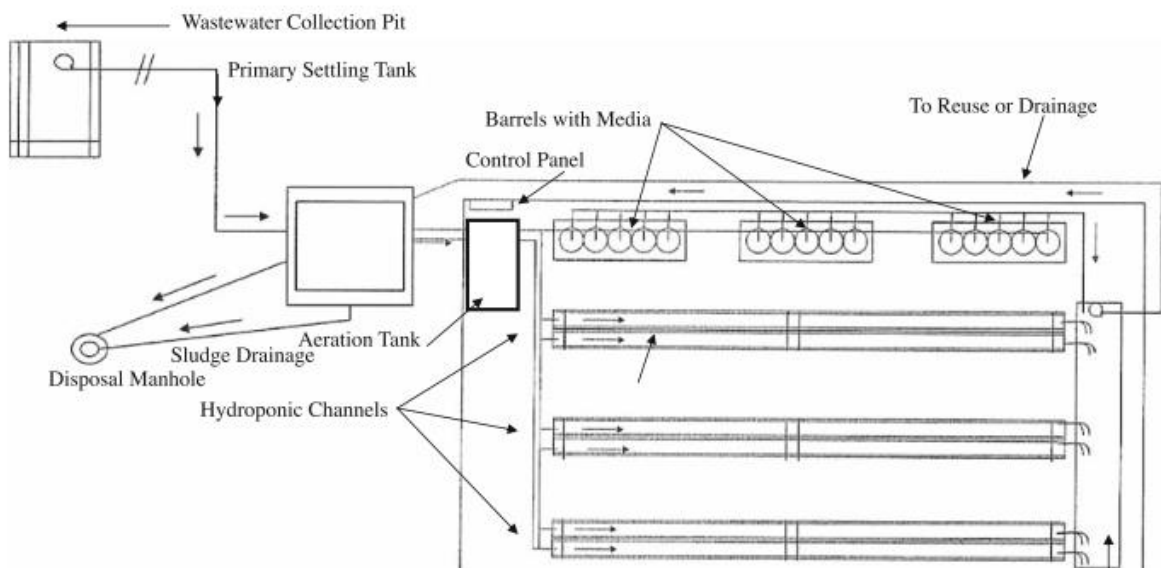


Figura 2.12- Representação esquemática de um sistema piloto de tratamento hidropônico em Israel (Fonte: Haddad et al., 2011)

O decantador primário, alimenta por sua vez, por gravidade, a estufa na qual um sistema de hidroponia foi implementado. Este sistema é constituído por duas variantes: barris e canais. Uma representação esquemática é apresentada nas Figura 2.13 e Figura 2.14.

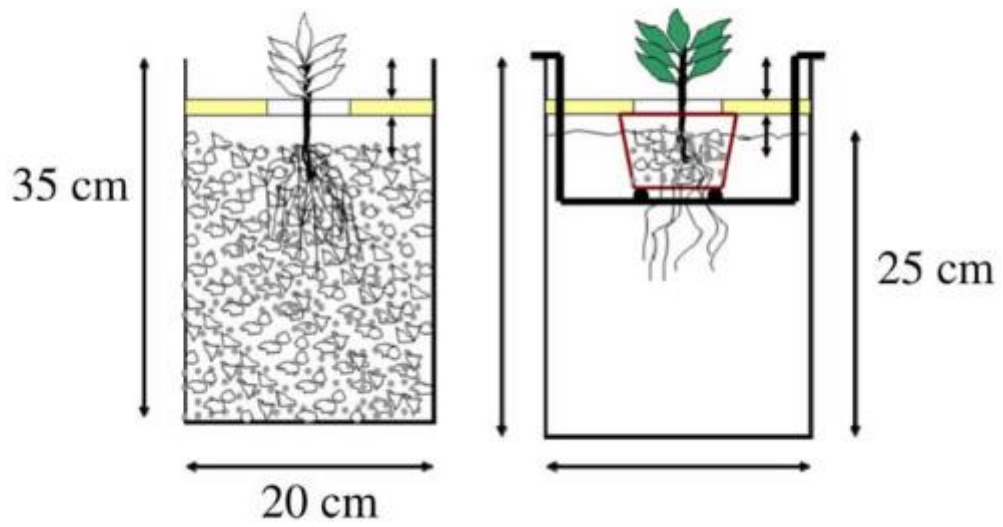


Figura 2.13- Esquema hidropônico em canal com e sem meio de cultura (Fonte: Haddad et al., 2011)

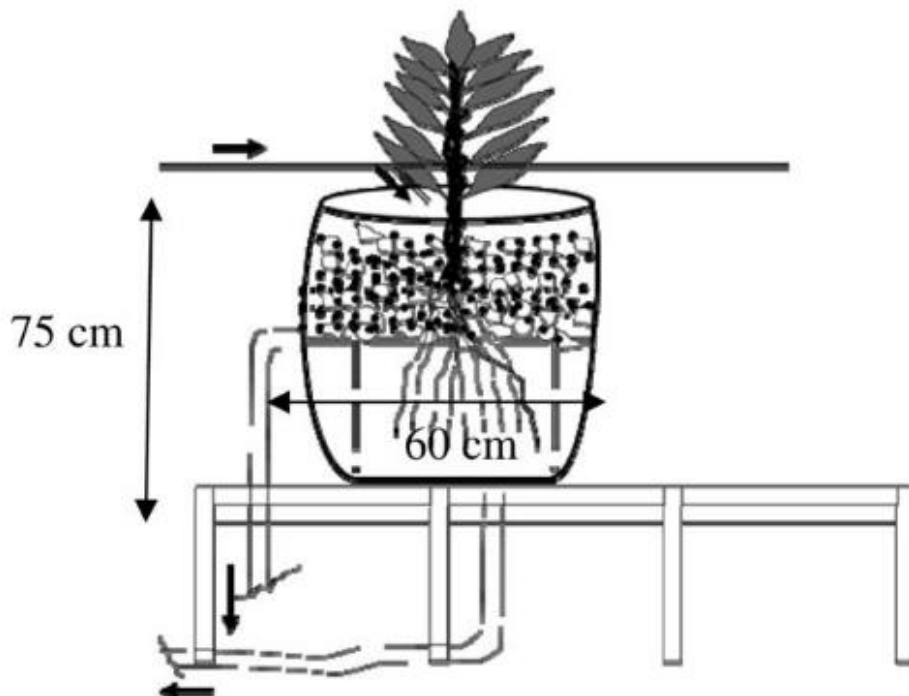


Figura 2.14- Esquema hidropônico em barril com meio de cultura (Fonte: Haddad et al., 2011)

No método hidropónico com barris o sistema de irrigação consiste em irrigação gota-a-gota, enquanto que no método por canais o sistema de irrigação consiste num sistema Ebb e de fluxo. Os parâmetros afluentes e efluentes do sistema são apresentados na tabela que se segue (Tabela 2.1).

Tabela 2.1- Dados de performance do sistema hidropónico de acordo com a vegetação (Haddad et al., 2011)

Sistema de hidroponia	Carga hidráulica (m ³ /m ² .d)	Carga orgânica superficial (g/m ² .d)	Tipo de planta	Qualidade do afluente (mg/L)								Qualidade do efluente(mg/L)							
				pH	SST	SDT	OD	CB O	CQO	NT	PT	pH	SST	SDT	OD	CBO	CQO	NT	PT
Barril	0.13	82.6	Oliveira	7.61	181	1260	3.67	251	633	236	4.8	7.53	33	927	0.353	198	278	142	3.1
Barril	0.12	73.4	Limoeiro	7.61	181	1260	3.67	251	633	236	4.8	7.52	45	1043	0.30	193	209	167	3.3
Barril	0.15	93.7	Alecrim	7.61	181	1260	3.67	251	633	236	4.8	7.48	40	1270	0.21	202	246	155	3.0
Barril	0.12	66.7	Abóbora	7.61	204	1384	3.67	276	538	177	6.1	7.69	33	1478	0.29	198	266	144	3.4
Barril	0.12	62.4	Feijão verde	7.61	204	1384	3.67	276	538	177	6.1	7.62	35	1447	0.25	187	296	182	3.3
Barril	0.13	68.9	Milho doce	7.61	204	1384	3.67	276	538	177	6.1	7.65	39	1398	0.40	212	262	168	3.0
Canal horizontal	0.076	48.1	Beringela	7.61	181	1260	3.67	251	633	236	4.8	7.61	21	954	0.75	176	224	153	3.2
Canal horizontal	0.076	40.9	Tomate cherry	7.61	204	1384	3.67	276	538	177	6.1	7.74	21	954	0.75	188	212	153	3.2
Canal horizontal	0.066	41.8	Craveiro	7.61	181	1260	3.67	251	633	236	4.8	7.62	35	1286	0.63	240	183	138	3.8
Canal Horizontal	0.056	35.3	Azálea	7.61	181	1260	3.67	251	633	236	4.8	7.60	32	1346	0.74	124	191	124	3.5

No sistema de hidroponia foram utilizados vegetais, como milho doce, tomates cherry, feijão-verde e abóboras, flores de corte, árvores como limoeiro e oliveira e ervas aromáticas, concretamente o alecrim. Os parâmetros monitorizados foram SST, N, P, OD, CBO, CQO e pH, em conformidade com métodos standard relativos à água residual. A eficiência de tratamento verificado em relação aos SST foi entre 75% a 95%, representando uma média de 33 mg/l no efluente tratado, valor muito próximo do objetivo de descarga previstos na legislação, provando desta forma a eficiência dos sistemas hidropónicos na remoção de sólidos. O mesmo não sucede com os parâmetros CBO, CQO, NT e PT, possivelmente entre outros fatores, devido às elevadas cargas orgânicas afluentes e cargas hidráulicas inapropriadas aplicadas no sistema hidropónico, refere o autor. Relativamente ao oxigénio dissolvido (OD), o afluente apresentava valores baixos, sendo necessário proceder ao arejamento de forma a elevar os mesmos para valores de 3.7 mgO₂/l. O facto de serem verificados valores relativamente baixos, pode ser atribuído ao uso de produtos químicos e farmacêuticos dentro do campus. O processo de nitrificação foi fortemente afetado também pelos baixos valores de OD, apresentando valores no efluente de OD compreendidos entre 0.25 mg/l e 0.75 mg/l. Dado que a biomassa produzida no método por barril ser

superior, este evidenciou maiores eficiências de tratamento de água residual no campus, podendo servir de tratamento complementar a um sistema convencional de tratamento de água, como foi referido anteriormente. A nível de produção de colheitas o método por barris apresentou-se mais eficiente. Os valores obtidos são apresentados nas tabelas que se seguem (Tabela 2.2 e Tabela 2.3).

Tabela 2.2-Rendimento da colheita por sistema e por planta (Fonte: Haddad et al., 2011)

Cultura	Sistema	Produção do sistema piloto de hidroponia		Produção do sistema agrícola tradicional
		kg/barril	ton/ha	ton/ha
Abóbora	Barril	9.85	174.16	24.70-74.1 grande 12.35-17.29 pequena
Milho doce		1.69	29.86	12.35-17.29
Feijão-verde		0.094	1.65	14.82-17.29
Beringela	Canais	2.09	52.29	12.35-17.29
Tomate cherry		3.27	81.51	49.4-61.75

Tabela 2.3- Produção de biomassa por sistema e por planta (Fonte:Haddad et al., 2011)

Cultura	Sistema	Biomassa total (kg/m ²)		
		Produção	Haste e folhas	Raízes
Abóbora	Barril	34.85	71.20	7.04
Milho doce		5.98	2.83	0.85
Feijão-verde		0.33	2.33	0.74
Beringela	Canais	10.46	17.64	1.96
Tomate cherry		16.31	15.51	1.51

A tese realizada por Calabria (2014), consiste na utilização do permeado proveniente de um tratamento através de um reactor biológico anaeróbio de membrana (AnMBR), de águas residuais domésticas, com intuito de fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizante juntamente com a água de irrigação. O sistema AnMBR em questão encontra-se munido de membranas tubulares de ultrafiltração, de fluoreto de polivinilideno (PVDF), com uma porosidade média de 0.03 μm e uma área total de 0.0423 m², permitindo assim a remoção de sólidos em suspensão, vírus, bactérias e compostos orgânicos de elevado peso molecular, permitindo ainda a recuperação dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas. A fertirrigação, é um método de irrigação permite um controlo mais preciso de fertilizantes nos diferentes estágios de crescimento. O método mais conhecido é a irrigação gota-a-gota, o qual pode ser aplicado à agricultura no solo, ou ao cultivo hidropónico, como é apresentada na tese em questão. Desta forma é possível reduzir a quantidade de nutrientes que escoam para as massas de água subterrâneas, e ainda permite evitar o contacto com a planta, sendo a gota aplicada localmente (Calabria, 2014).

Na Figura 2.15 encontra-se esquematizado o balanço de massas dos elementos N, P, K existentes na água residual afluyente ao sistema AnMBR teórico, do qual se pretende obter um tratamento inicial para que posteriormente sejam equilibradas as concentrações dos nutrientes de forma a produzir tomates em larga escala.

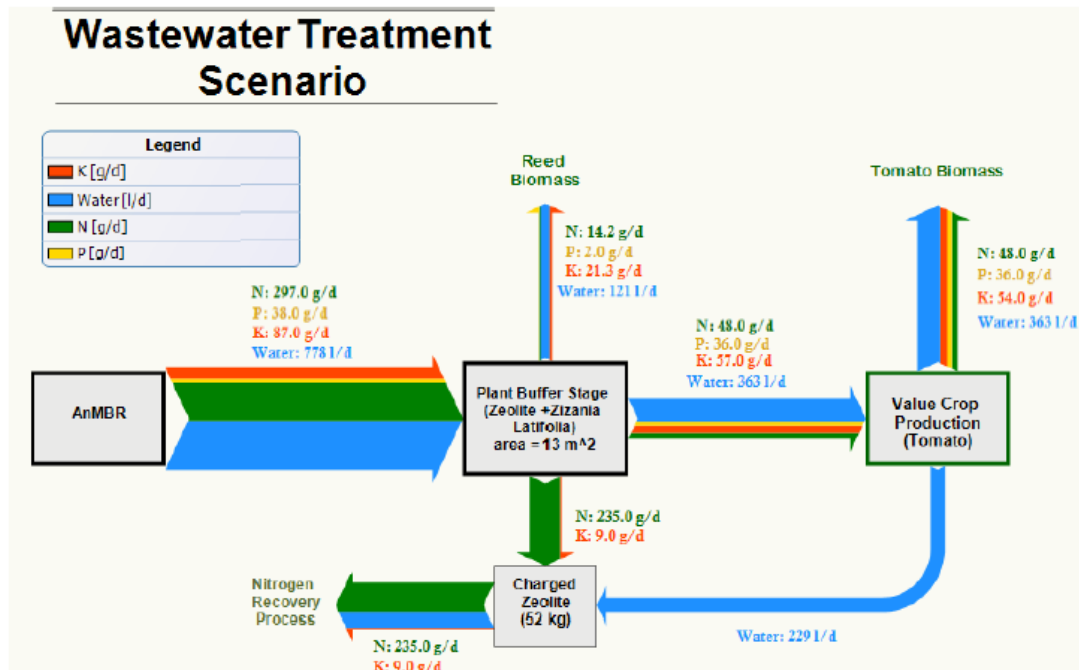


Figura 2.15- Diagrama de balanço de massas diário da recuperação de nutrientes do AnMBR (Fonte: Calabria et al., 2014)

No piloto realizado na Learning Gate Community School, em conjunto com a University of South Florida, foram cultivados pepinos com objetivo de simular o crescimento em condições exteriores, permitindo assim avaliar a eficiência da estufa. Com intuito de avaliar a eficiência laboratorial, foram cultivados tomates utilizando seis soluções nutritivas diferentes, das quais o permeado proveniente do piloto AnMBR, uma solução controlo comercial para hidroponia, água da torneira utilizada como branco, uma solução diluída 50 % a partir do permeado do AnMBR, uma solução diluída 50% a partir da solução de controlo e o permeado puro do AnMBR ao qual o pH foi ajustado a 6.5. O crescimento ótimo foi obtido utilizando a solução controlo, seguido pela diluição em 50% do permeado proveniente do AnMBR. Os parâmetros considerados para avaliar a eficiência da estufa foram o peso da planta, o número de folhas e a largura da haste. Calabria (2014) conclui que o crescimento ótimo ocorre com a solução controlo, seguido da solução diluída em metade a partir do permeado do AnMBR, na avaliação da eficiência da estufa. O autor refere ainda que a deficiência nutritiva verificada para as plantas foi exacerbada devido às condições ambientais não ideais verificadas na estufa. Quanto ao ensaio relativo à eficiência laboratorial o autor concluiu que o crescimento ótimo dos tomates ocorreu quando aplicado a solução 100% concentrada do permeado, à qual o pH foi ajustado a 6.5, sendo os resultados obtidos muito semelhantes aos da solução controlo. Calabria (2014) refere ainda a discrepância verificada no rácio azoto amoniacal/azoto total, o qual no permeado do AnMBR o azoto amoniacal corresponde a

70-80% do azoto total, enquanto que nas soluções nutritivas comerciais é apenas 15%, provocando assim uma redução observável no crescimento dos tomates. Sendo assim, pretende-se uma concentração de nitratos superior, em detrimento de azoto amoniacal, podendo tais valores ser obtidos, acrescentando um estágio de nitrificação, não verificado no piloto. Com esta tese o autor conseguiu provar a possibilidade de cultivar, em sistema hidropónico, vegetais como é o caso dos pepinos e dos tomates, de forma viável, contudo refere a necessidade legitimar a utilização de água residual tratada para utilização em operações de cultivo comercial. (Calabria, 2014).

Mais recentemente, o Professor Sutar K. A (2018), realizou um estudo experimental, utilizando a técnica de cultivo hidropónico N.F.T. (Nutrient film technique) para o cultivo de espinafres e hortelã. As espécies foram selecionadas, por possuírem um ciclo de vida curto, cerca de 10 dias. O crescimento das mesmas é dependente das características da água residual, e da concentração NPK, sendo esta a relação de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, de azoto (N), fósforo (P) e potássio (K). Parâmetros químicos da água residual foram analisados como pH, sólidos suspensos totais (SST), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO), azoto (N), fósforo (P) e potássio (K) utilizando metodologias normalizadas. Através do estudo conduzido por parte do Professor Sutar K. A (2018) o próprio concluiu que ocorreu uma redução de 42.8% de CQO e uma redução de 48% de CBO. Concluiu ainda que a produção de lamas no sistema N.F.T. é relativamente baixa, possivelmente devido a elevada idade das lamas, visto ser um sistema fechado, onde é efetuada a recirculação das mesmas (K. A, 2018). Posto isto, é possível verificar o nível de tratamento adicional acrescentado pela utilização de água residual em cultivo hidropónico, complementando assim os sistemas de tratamento já existentes, os quais são fornecedores da água para reutilização. O autor refere ainda a contaminação foliar bacteriana nos espinafres, devido à presença de bactérias na água residual, sendo, portanto, necessário aplicar um tratamento à água residual bruta, se o intuito for o cultivo de culturas comestíveis. Dos sete parâmetros analisados de acordo métodos normalizados, quatro destes encontram-se acima do limite permitido como se pode observar na Tabela 2.4. Os valores de fósforo e potássio encontram-se abaixo dos limites permitidos, e o pH encontra-se dentro dos limites permitidos.

Tabela 2.4- Características primárias da água residual (Fonte: K.A. et al., 2018)

Parâmetro	Leitura	Unidade	Límite permitido
pH	7.61	-	5.5-9.0
SDT	971	mg/L	100
CQO	865	mg/L	250
CBO	370	mg/L	50
Azoto	84.6	mg/L	50
Fósforo	0.741	mg/L	10
Potássio	21.48	mg/L	30

Jesse et al. (2019), conduziram um estudo, com intuito de produção de alface, em sistema hidropónico utilizando como solução nutritiva água residual de liquefação pós-hidrotérmica (PHW), a qual foi submetida a 5 processos de tratamento distintos, com intuito de avaliar o mais eficiente para utilização em sistema hidropónico. A água residual de liquefação pós-hidrotérmica (PHW) é um

subproduto do processo de liquefação hidrotermal (HTL), a qual não apresenta microrganismos patogénicos, contudo pode apresentar metais e metaloides. Numa visão de economia circular, os resíduos secos provenientes do estrume do gado e do processamento de comida são, através do processo de liquefação hidrotermal (HTL) convertido em bio crude, sob condições de temperatura e pressões elevadas. O subproduto líquido deste processo contem nutrientes, como o azoto (N), fósforo (P) e potássio (K) necessários para o crescimento de culturas. Devido às elevadas temperaturas e pressões de funcionamento do processo de liquefação hidrotermal (HTL) ocorre a destruição de contaminantes, como fármacos, organismos patogénicos, e material genético existente, permitindo assim um elevado potencial de reutilização da água residual do processo de liquefação pós-hidrotermal (PHW) para a produção de culturas comestíveis. Contudo, apesar do risco de contaminação dos alimentos devido a microrganismos patogénicos, ser eliminado, como já foi referido, existe o risco iminente de contaminação dos alimentos com metais pesados e metaloides, presentes na água residual do processo de liquefação pós-hidrotermal (PHW). A água residual foi filtrada usando configurações distintas de filtração em leito granular, das quais resultaram as diferentes fontes experimentais. Os processos utilizados no estudo para o crescimento de alface em sistema hidropónico foram utilizando água municipal da torneira com fertilizante hidropónico (1), 2.5% PHW com filtração de areia (2), 2.5% PHW com filtração de areia e filtração de carbono (3), 2.5% PHW com nitrificação e filtração de areia (4), 2.5% PHW com filtração de areia e suplementado com fertilizante hidropónico (5), servindo o primeiro como grupo de controlo. Após o término do ciclo de quatro semanas, foi possível concluir que a fonte de controlo (1) apresenta o maior rendimento líquido, sendo este rendimento a diferença entre rendimento fresco na colheita e a massa fresca dos rebentos no início do estudo. A fonte (3) apresenta o menor rendimento líquido fresco, seguido da fonte (2), (4), (5). O mesmo acontece para a massa seca dos rebentos, como seria esperado. Contudo no que diz respeito aos metais, os valores de cádmio, chumbo e mercúrio encontram-se abaixo dos valores determinados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos para todas as fontes de água (USDA, 2006). Ainda assim, as concentrações de arsénico nas folhas secas da alface apresentam valores superiores ao máximo permitido, para as fontes (2), (3) e (4). As maiores concentrações de metais nas folhas secas verificam-se nas fontes (3), (4), sendo nestas também onde se verifica menores percentagens de fósforo e azoto. Os valores das concentrações de metais e metaloides, nutrientes e peso da colheita para cada uma das cinco fontes é apresentada na tabela que se segue (Tabela 2.5).

Tabela 2.5- Concentração de metais e metaloides, nutrientes, e peso da colheita fresco e seco (Fonte: Jesse, et al., 2019)

Fonte	Concentração de metais e metaloides nas folhas secas (µg/kg)				Azoto e Fósforo (%)		Produção fresca (g)	Produção seca (g)
	Cd	Hg	Pb	As	N	P		
1	4.20	2.74	57.86	30.56	5.45%	1.04%	127.34	93.67
2	15.60	3.19	136.50	81.81	1.93%	0.16%	3.49	30.60
3	16.45	2.63	77.01	118.32	1.84%	0.14%	0.78	27.00
4	7.76	1.21	32.86	99.85	1.53%	0.23%	7.19	35.57
5	0.81	0.93	3.64	42.69	5.44%	0.99%	78.25	70.20

Posto isto, a fonte (5) apresenta os melhores resultados no que toca ao crescimento hidropónico de alfaces utilizando água residual. Segundo o autor não foram detetados valores de *E.coli*, nem de coliformes fecais. Novamente, a percentagem de nitratos e nitritos na água residual apresenta-se em concentrações reduzidas, convergindo às conclusões obtidas por Calabria (2014). Ainda assim, com este estudo foi demonstrada a possibilidade de produção de vegetais, como alfaces, de forma segura, sendo que a fonte (1) de controlo e a fonte (5) as que obtiveram melhores resultados, ainda que não tenha sido possível obter a mesma concentração de nutrientes recuperados através do sistema AnMBR. O autor propõe ainda que o défice de nutrientes existentes nas restantes fontes, seja a causa do aumento da bioacumulação de metais e metaloides nos tecidos das plantas.

Mais recentemente, um projeto piloto desenvolvido por Yongsheng Chen, professor na School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, tem como objetivo a reutilização de água residual produzida no campus. A energia gasta para remover os nutrientes presentes na água residual, e ainda a energia necessária para produção de fertilizantes orgânicos é notável, refere o autor. A utilização de um MBR (Membrane Bioreactor), também este anaeróbico, um método de tratamento de águas residuais que tem como intuito transferir contaminantes presentes na água residual para o biogás bem como a remoção de organismos patogénicos, como *E.coli*. Sendo assim, é possível garantir a segurança dos alimentos quando cultivados a partir de água de reutilização, permitindo desta forma recuperar apenas os nutrientes necessários para o crescimento das plantas, como o azoto (N), fósforo (P) e potássio (K). Esta tecnologia consiste na separação sólido-líquido, sem a utilização de oxigénio, e com a redução de 90% de lamas, em comparação com o sistema de lamas ativadas (Kart, 2018). Para tal é proposto um sistema a funcionar com membranas inteligentes ou nanomateriais de forma a que a recuperação de nutrientes seja eficiente, bem como a remoção de fármacos, organismo indesejáveis e metais pesados. O projeto prevê a monitorização de parâmetros químicos e microbiológicos continuamente. O objetivo do projeto piloto é a utilização de nutrientes presentes nas águas residuais domésticas, com intuito de produção agrícola numa zona urbana, em ambiente agrícola controlado (CEA) (Simmons, 2018). Prevê-se ainda um fim pedagógico, no qual serão rastreados os fluxos de materiais e energia, utilizados para estabelecer comparação com os dados existentes relativamente à agricultura tradicional, conduzindo deste modo, a uma análise de ciclo de vida, bem como uma análise técnico-económica com intuito de avaliar a fiabilidade de aplicação deste sistema em outros locais. Para que o projeto fosse possível um investimento de 5 milhões de dólares foi concedido pela USDA (United States Department of Agriculture). Está previsto a produção de alfaces, tomates, frutas e outros vegetais. O projeto piloto está previsto ter início no final do ano 2019 (Curran, 2018).

3. Diretrizes para reutilização de água residual

3.1 Organização Mundial de Saúde

Em 2006 a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou, no seguimento das duas edições anteriores, em 1973 e 1989, uma terceira edição do documento no qual são definidas diretrizes para o uso seguro de água residual tratada, onde são identificados problemas, e são ainda propostas medidas de mitigação dos mesmos, com objetivo de proteção da saúde pública. Note-se que esse documento publicado em 2006, foi dividido em quatro volumes, sendo o segundo relativo ao uso de água residual na agricultura e o quarto relativo à reutilização de água negra e água cinzenta na agricultura, volumes analisados na presente dissertação (WHO, 2006).

Este documento é de extrema importância, servindo de base para os documentos que o sucederam. Tem como principal objetivo, como é referido anteriormente, apresentar enquadramento relativamente à proteção da saúde pública, bem como o reaproveitamento de importantes recursos, como os nutrientes presentes na água residual, com intuito de tornar possível a reutilização dessa mesma água de forma segura na agricultura. Neste documento é priorizada a avaliação de riscos para a saúde, antes de definir parâmetros mínimos verificáveis para boas práticas de aplicação e de proteção da saúde pública, quer dos trabalhadores, quer das comunidades locais onde a água residual é utilizada com o fim de irrigação de culturas comestíveis (WHO, 2006). Associados à utilização de água residual para irrigação agrícola são, na Tabela 3.1, apresentados os riscos, baseados em análise laboratorial microbial e química, estudos epidemiológicos e avaliação quantitativa de risco microbial e químico.

Tabela 3.1-Sumário dos riscos associados à utilização de água residual para irrigação (adaptado OMS)

Grupo de exposição	Riscos para a saúde		
	Parasitas	Vírus/Bactérias	Protozoários
Consumidores	Risco de contaminação de <i>Ascaris</i> tanto para adultos como para crianças aquando a água residual não é tratada	Reportórios de surtos de cólera, tifoide e shigelose devido à utilização de água residual não tratada; Respostas seropositivas para <i>Helicobacter pylori</i> ; Aumento de diarreia não específica quando a qualidade da água excede 10 ⁴ coliformes termotolerantes/100 ml	Evidência de protozoários presentes na superfície de vegetais regados com água residual, mas sem evidência direta de transmissão de doença
Agricultores e família	Risco significativo de contaminação de <i>Ascaris</i> quer em adultos, quer em crianças em contacto com água residual não tratada; Risco, sobretudo para as crianças quando a água residual tratada apresenta < 1 ovo de nematode por litro; Aumento do risco de infeção por ancilóstomos nos trabalhadores	Aumento do risco de diarreia em crianças quando a qualidade da água excede 10 ⁴ coliformes termotolerantes/100 ml; Elevado risco de infeção por <i>Salmonella</i> em crianças expostas a água residual não tratada; Resposta serológica, positiva ou negativa, a norovírus em adultos expostos a água residual parcialmente tratada	Risco de infeção através de <i>Giardia intestinalis</i> considerada insignificante aquando o contacto quer seja água residual tratada ou não tratada; Aumento do risco de amebíase observado aquando o contacto com água residual não tratada
Comunidades próximas	A transmissão de <i>Ascaris</i> não foi estudada quando o método de rega aplicado é por aspersão, o mesmo acontece com irrigação por sulcos	Irrigação por aspersão com água que apresenta baixa qualidade (10 ⁶ - 10 ⁹ coliformes totais/100 ml) e elevada exposição a aerossóis aumentam o risco de infeção; O uso de água parcialmente tratada (10 ⁴ - 10 ⁵ coliformes termotolerantes/100 ml ou menos) em rega por aspersão não foi encontrado aumento de risco de contaminação viral	Sem dados na transmissão de infeções devido a protozoários, durante a rega por aspersão

Os maiores riscos associados à utilização de água sem tratamento adequado para utilização na irrigação agrícola são normalmente associados a parasitas intestinais (WHO, 2006).

Já na Tabela 3.2 é possível observar uma avaliação quantitativa de risco microbial de transmissão infecciosa através de rotavírus devido a diferentes cenários exposição, sendo estes considerados por apresentarem um nível mais elevado de perigosidade em comparação com infeções provocadas por *Campylobacter* ou *Cryptosporidium* (WHO, 2006).

Tabela 3.2- Sumário dos riscos de infeção de rotavírus em diferentes cenários de exposição (adaptado OMS)

Cenário de exposição	Qualidade da água (<i>E.coli</i> /100 ml de água residual ou 100 g de solo) (não desinfetada)	Risco de infeção mediana por pessoa e por ano	Notas
Irrigação sem restrições (consumidores das culturas produzidas)			
Alface	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	100 g comida crua por pessoa a cada 2 dias; 10 – 15 ml de água residual remanescente na colheita
Cebola	$10^3 - 10^4$	5×10^{-2}	100 g comida crua por pessoa, por semana durante 5 meses; 1 – 5 ml de água residual remanescente na colheita
Irrigação restrita (agricultores e população exposta)			
Fortemente mecanizada	10^5	10^{-3}	100 dias de exposição por ano; 1 – 10 mg de solo consumido por exposição
Trabalho intensivo	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	150 – 300 dias de exposição por ano; 10 – 100 mg de solos consumido por exposição

Evidências de problemas de saúde associados ao risco químico são menos evidentes, sendo estes dependentes de tipo de químico, bem como das propriedades físicas e químicas do solo (WHO, 2006).

Relativamente a objetivos com base na saúde, são definidos níveis de proteção para cada perigo associado, podendo basear-se em parâmetros métricos de doença, como é o caso do DALY (Disability-Adjusted Life Year) ou até mesmo baseado na prevenção de transmissão de doenças transmitidas por vetor resultante da exposição à água residual em práticas agrícolas. A tabela seguinte (Tabela 3.3) apresenta os objetivos baseados na saúde, para a utilização de água residual na agricultura, baseando-se na avaliação quantitativa de risco microbial (QMRA) de rotavírus, indicando o \log_{10} de redução de patogénicos necessária para atingir o objetivo 10^{-6} DALY por pessoa e por ano. Quanto aos parasitas, evidências epidemiológicas foram analisadas (WHO, 2006).

Tabela 3.3- Objetivos baseados na saúde para a utilização de água residual na agricultura (adaptado OMS)

Cenário de exposição	Objetivos baseados na saúde (DALY por pessoa por ano)	Redução necessária Log ₁₀ de patogênicos (1)	Número de ovos de parasitas por litro
Irrigação sem restrição	≤ 10 ⁻⁶ (1)		
Alface		6	≤1 (2)(3)
Cebola		7	≤1
Irrigação com restrição	≤ 10 ⁻⁶ (1)		
Fortemente mecanizada		3	≤1 (2)(3)
Trabalho intensivo		4	≤1 (2)(3)
Irrigação localizada gota-a-gota	≤ 10 ⁻⁶ (1)		
Culturas de crescimento elevado		2	Sem recomendação (4)
Culturas de crescimento baixo		4	≤1 (2)(3)

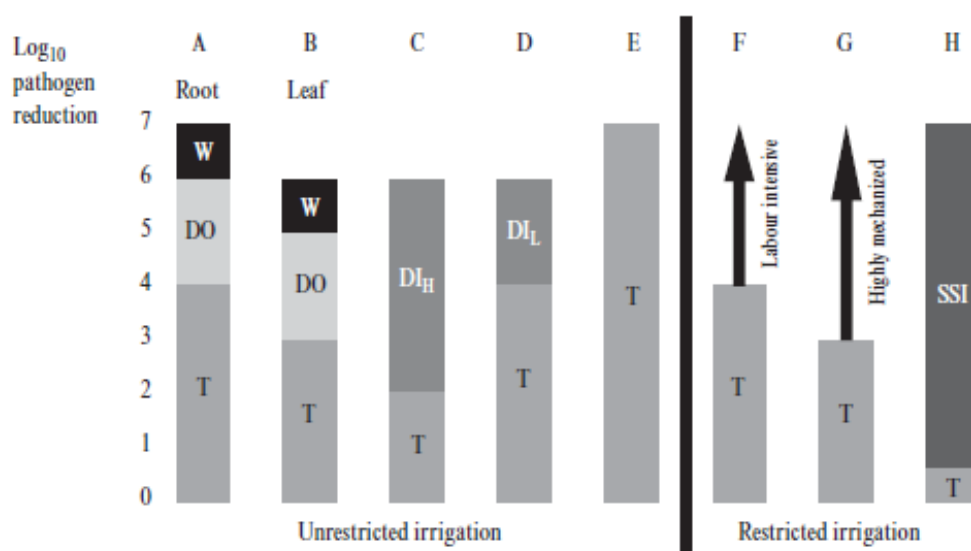


Figura 3.1- Exemplo de opções para redução viral, de bactérias e protozoários patogênicos através de diferentes combinações de medidas que permitam atingir o objetivo baseado na saúde de ≤10⁻⁶ DALYs por pessoa e por ano (Fonte: WHO et. al., 2006).

(1) Redução de rotavírus. Redução obtida a partir da combinação de nível de tratamento de água residual juntamente com medidas de proteção de saúde.

(2) Aquando crianças de idade inferior a 15 anos são expostas, medidas adicionais de proteção de saúde devem ser usadas.

(3) Média aritmética deve ser calculada durante o período de irrigação, sendo que o valor ≤1 ovos/litro deve ser obtido pelo menos 90 % das amostras.

(4) Sem culturas para serem colhidas do solo.

São ainda apresentadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) os valores máximos toleráveis para a concentração nos solos de 41 compostos químicos tóxicos baseados na proteção da saúde humana.

A OMS (2006) propõe ainda uma panóplia de medidas de proteção com intuito de reduzir os riscos associados quer para os consumidores, agricultores e famílias e mesmo para as comunidades locais. De referir que o risco de infeção através de microrganismos patogénicos é minimizado quando os alimentos são cozinhados, contudo cozinhar os alimentos não tem influência na concentração de tóxicos. São de seguida apresentadas algumas medidas de proteção dos consumidores dos produtos:

- Tratamento da água residual;
- Restrição de culturas;
- Utilização de técnicas de rega que minimizem o problema de contaminação, como é o caso da rega gota-a-gota;
- Práticas de higiene em mercados de comida e durante a preparação da mesma;
- Promoção de saúde e higiene;
- Lavagem, desinfeção e confeção dos alimentos;

Relativamente à proteção dos produtores e das suas famílias, as medidas são:

- Utilização de equipamento de proteção individual;
- Acesso a água potável e saneamento na exploração agrícola;
- Promover a saúde e a higiene;
- Controlo do vetor de transmissão de doença, bem como o hospedeiro intermediário;
- Redução do contacto com o vetor.

Quanto à proteção das comunidades locais, as medidas a aplicar são:

- Tratamento da água residual;
- Acesso restrito aos campos irrigados com água residual bem como às infraestruturas hidráulicas;
- Acesso a água recreacional segura;
- Acesso a água potável e saneamento nas comunidades locais;
- Promoção de saúde e higiene;
- Controlo do vetor de transmissão de doença, bem como o hospedeiro intermediário;
- Redução do contacto com o vetor.

É referido ainda pela Organização Mundial de Saúde (OMS) a necessidade de avaliação do sistema bem como a monitorização do mesmo, com intuito de validar, e provar que o sistema é capaz de cumprir os requisitos necessários. A monitorização é efetuada em três fases diferentes. Numa fase inicial como comprovação do funcionamento do sistema. Numa segunda fase a monitorização operacional tem como objetivo avaliar se o processo apresenta resultados esperados. E por último a verificação dos cumprimentos das metas de tratamento, a nível bacteriológico e químico, bem como da qualidade da colheita.

3.2 Comissão Europeia

Em 2017, foi publicado pela Comissão Europeia (CE) um relatório redigido pela Joint Research Centre (JRC) o qual tem como objetivo principal propor parâmetros mínimos de qualidade para reutilização de água para irrigação de forma a encorajar o uso seguro e eficiente de água residual, apenas de fontes domésticas, como recurso e reduzir as pressões no meio aquático aquando a descarga da mesma, apresentando-se de suporte científico ao tema. As águas residuais domésticas encontram-se ao abrigo da Diretiva 91/271/CEE. Desta forma é possível convergir para uma harmonização de parâmetros de reutilização, os quais podem quebrar as barreiras existentes relativamente à exportação de produtos produzidos através da reutilização de água residual. Para tal, são propostas pela JRC parâmetros mínimos de qualidade de forma a permitir a utilização de água residual para irrigação agrícola e para recarga de aquíferos, complementando deste modo o documento apresentado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) publicado em 2006, e ainda o comunicado apresentado em 2015 «Fechar o ciclo – plano de ação para a EU para a economia circular» (JRC, 2017 & Comissão Europeia, 2015). Tais parâmetros devem ser desenvolvidos, com base num enquadramento de gestão de risco, como é referido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), sendo essa gestão obtida de forma proativa, ao invés de forma reativa, aquando as consequências surgem, sendo portanto uma gestão dinâmica e sistemática produzindo água para reutilização «adequada ao fim a que se destina» (JRC, 2017). Note-se que a gestão de risco anteriormente referida deve apresentar os seguintes elementos:

- Criação de uma equipa de gestão de risco;
- Descrição do sistema de reutilização de água;
- Identificação dos riscos e dos eventos perigosos, e avaliação de riscos;
- Determinação de medidas preventivas para limitação dos riscos;
- Desenvolvimento de procedimentos operacionais;
- Verificação da qualidade da água e do ambiente de receção;
- Validação dos processos e procedimentos;
- Gestão de incidentes e emergência;

Na Tabela 3.4 são apresentados os critérios a cumprir propostos pela Joint Research Centre (JRC), aprovados pela Comunidade Económica Europeia (CEE) para a reutilização de água residual com a finalidade de rega.

Tabela 3.4- Critérios de classe de qualidade da água para irrigação agrícola (adaptado JRC)

Classe de qualidade de água	Tratamento necessário	Critério de qualidade				
		<i>E.coli</i> (cfu/100mL)	CBO ₅ (mg/L)	SST(mg/L)	Turvação(NTU)	Critérios adicionais
Classe A	Tratamento secundário, filtração e desinfecção (sistemas avançados de tratamento de água)	≤ 10 ou abaixo do limite de deteção	≤ 10	≤ 10	≤ 5	<i>Legionella</i> spp.: ≤1,000 cfu/l quando existe risco de aerossolização. Nematodes intestinais (ovos de parasitas): ≤1 ovo/l quando se trata de irrigação de pastagem ou forragem para gado
Classe B	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 100	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	-	
Classe C	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 1,000	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	-	
Classe D	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 10,000	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	-	

À semelhança do que é descrito pela OMS (2006) os valores dos critérios *E.coli*, *Legionella* e nematodes intestinais devem ser cumpridos em 90% das amostras, e de referir ainda que os valores medidos não podem sofrer um desvio superior a 1 unidade logarítmica do valor referência. O mesmo deve ser verificado para a Classe A no que toca aos parâmetros de carência bioquímica de oxigénio após cinco dias (CBO₅), sólidos suspensos totais (SST) e turvação, onde 90% dos valores devem ser cumpridos, não podendo ser excedidas mais de duas vezes o valor definidos na Tabela 3.4.

Neste documento redigido a pedido da Directorate-General for Environment (DG ENV) são considerados os usos para irrigação para: produção de culturas comestíveis cruas ou sem processamentos, culturas comestíveis processadas, e culturas não intencionadas para consumo humano. Na Tabela 3.5 encontram-se dispostos os tipos de usos bem como os métodos a aplicar de acordo com as classes de qualidade de água.

Tabela 3.5- Classes de qualidade da água para reutilização, usos agrícolas permitidos suas práticas (adaptado JRC)

Categoria de cultura	Classe mínima de qualidade de água	Método de irrigação
Todos os tipos de culturas, inclusive raízes consumidas cruas nas quais a parte comestível encontra-se em contacto direto com a água de irrigação	Classe A	Permitidos todos os métodos de irrigação
Culturas consumidas cruas onde a parte comestível é produzida acima do solo, não estando em contacto direto com a água de irrigação	Classe B	Permitidos todos os métodos de irrigação
	Classe C	Apenas rega gota-a-gota
Alimentos processados	Classe B	Permitidos todos os métodos de irrigação
	Classe C	Apenas rega gota-a-gota
Culturas não alimentares, incluindo culturas para alimentação de animais produtores de leite e carne	Classe B	Permitidos todos os métodos de irrigação
	Classe C	Apenas rega gota-a-gota
Industrial, energia e culturas de sementeira	Classe D	Permitidos todos os métodos de irrigação

Na Tabela 3.6 são apresentadas pela Joint Research Centre (JRC) as frequências mínimas de monitorização de seis parâmetros de qualidade da água para irrigação consoante as classes da mesma.

Tabela 3.6- Frequência mínima de monitorização de água para reutilização na irrigação agrícola (adaptado JRC)

Frequências de monitorização mínimas						
Classes de qualidade de água	<i>E.coli</i>	CBO₅	SST	Turvação	<i>Legionella</i> spp. (quando aplicável)	Nematodes intestinais (quando aplicável)
Classe A	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Continua	Uma vez por semana	Duas vezes mês ou frequência a determinar de acordo com o número de ovos na água residual
Classe B	Uma vez por semana	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	-		
Classe C	Duas vezes por mês	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	-		
Classe D	Duas vezes por mês	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	De acordo com a Diretiva 91/271/CEE	-		

Para que os parâmetros, apresentados na Tabela 3.4, analisados periodicamente segundo os requisitos explícitos na Tabela 3.6, sejam considerados em conformidade, estes têm de cumprir os seguintes critérios:

-Valores de *E. coli* e *Legionella* e nematodes intestinais devem ser verificados em 90% das amostras. As amostras não podem exceder um desvio superior a 1 unidade logarítmica relativamente a *E. coli* e *Legionella* e 100% do valor indicado para os nematodes intestinais;

-Valores de CBO₅, SST e turvação, devem ser confirmados pelo menos em 90% das amostras, sendo que as amostras não podem exceder um desvio máximo de duas vezes o valor definido na Tabela 3.4.

Quanto ao risco para tolerável para a saúde humana é, como é também definido no documento redigido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), baseado em objetivos de saúde, sendo este 10⁻⁶ DALYs por pessoa e por ano.

3.3 Decreto-Lei n.º 119/2019

Já a nível nacional, o Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto estabelece o regime jurídico para produção de água para reutilização, a qual é obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como a sua utilização (Diário da República, 1.ª série, 2019). Serve desta forma, no âmbito da implantação da Diretiva-Quadro da Água, como medida para conservação do bom estado das massas de água. A Diretiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1991, diz respeito à recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas e ao tratamento e descargas de águas residuais de determinados setores industriais. De referir ainda o objetivo de proteção do ambiente contra efeitos nefastos das descargas de águas residuais (Das & Europeias, 1991). A Diretiva 91/271/CEE foi transposta ao nível nacional pelo Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho (1997).

Encontra-se previsto Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto, o estabelecimento com base numa abordagem «adequar ao fim a que se destina», das normas de utilização da água residual para reutilização, e ainda a proteção dos meios recetores, tendo por base uma avaliação de risco. São referidas ainda com intuito de minimizar os riscos, barreiras múltiplas as quais são aplicáveis consoante o projeto em questão, podendo estas ser ao nível do tratamento ou barreiras físicas, com intuito de minimizar o risco de contacto com os recetores, através de percolação, lixiviação e arrastamento de contaminantes.

As licenças para utilização e produção de águas para reutilização (ApR) são definidas pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Para tal, é preciso proceder ao licenciamento, o qual tem de ser acompanhado por uma avaliação de riscos, como já foi referido, de forma a identificar os mesmos. Os riscos podem ser físicos, químicos e biológicos, e podem ter impactos quer na saúde pública quer nos recursos hídricos, no solo, na vegetação e nos animais. Esses riscos devem ser classificados tanto de forma quantitativa, como de forma qualificativa.

Referente aos sistemas de produção estes podem ser centralizados, ou descentralizados. Os sistemas de produção centralizados, sendo estes de titularidade estatal ou municipal, têm a possibilidade de, para além de uso próprio de água para reutilização (ApR), a cedência a terceiros. Já os sistemas descentralizados apenas podem produzir água para reutilização (ApR) para consumo próprio. Estes sistemas podem ser sistemas de tratamento individual ou tratamento no local de produção e reutilização. A cedência a terceiros por parte dos sistemas centralizados deve ser

devidamente licenciada, sendo necessária a renovação das mesmas num prazo máximo de 10 anos (Diário da República, 1.ª série, 2019).

No Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 119/2019 são definidas as normas de qualidade das águas para reutilização com base na avaliação de risco quer para a saúde quer para o meio ambiente atendendo ao parecer das entidades competentes, as quais são apresentadas no Artigo 11.º do referido Decreto-Lei. É referido ainda no Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 119/2019 que a qualidade da água para reutilização deve ser da responsabilidade do produtor até ao ponto de entrega, e do utilizador após entrega, em conformidade com as licenças de produção e utilização de ApR aprovada pela Agência Portuguesa do Ambiente.

O Artigo 17.º do Decreto-Lei n.º 119/2019 diz respeito à aplicação de barreiras ou medidas de proteção como por exemplo, rega gota-a-gota, rega por aspersão, pós-desinfecção no local de aplicação da água, coberturas resistentes ao sol, decaimento natural de microrganismos, secagem ao sol e controlo de acesso a áreas regadas, devendo estas ser aplicadas em conformidade com o tipo de uso a que se destina a água para reutilização, variando deste modo o número de barreiras a aplicar.

Para que seja considerado que a água para reutilização se encontra em conformidade com os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, acordados na licença de descarga, não é permitido que esta exceda em nenhuma amostra o valor em 75% das vezes e ainda que nenhuma amostra exceda o número máximo anual dos limites apresentados na Tabela 3.7. Para tal devem ser recolhidas amostras imediatamente antes do ponto de entrega da água para reutilização e no ponto de aplicação, sendo estas amostras compostas de um período de 24 horas, cujos intervalos são proporcionais ao volume. Caso o caudal seja superior a 1000 m³/dia estas devem ser efetuadas de hora a hora. Os métodos de amostragem analíticos devem ser devidamente acreditados, caso não sejam especificados pelo Decreto-Lei n.º 119/2019.

Caso não se verificarem cumprimentos de qualidade nem por parte do produtor, nem por parte do utilizador, bem como quando não são aplicadas as barreiras ou medidas de prevenção previstas na licença emitida pela APA, estes devem ser punidos com contraordenações. São exemplo de contraordenações graves são cedência de ApR a utilizadores sem licença, a não comunicação de situações anómalas, a alteração sem comunicação do funcionamento dos sistemas de produção e utilização, entre outras (Diário da República, 1.ª série, 2019).

A normas de qualidade para reutilização de água com a finalidade de rega, são apresentadas na Tabela 7 seguinte:

Tabela 3.7-Normas de qualidade de água de reutilização para rega (DL 119/2019)

Classes de qualidade	CBO ₅ (mg/L O ₂)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E.coli (ufc/100mL)	Ovos de parasitas intestinais (n°/L) ⁽⁵⁾	Azoto amoniacal (mg NH ₄ ⁺ /L) ⁽⁶⁾	Azoto total (mg N/L)	Fósforo total (mgP/L)
Classe A	≤10	≤10	≤5	≤10		10	15	5
Classe B	≤25	≤35		≤100				
Classe C	≤25	≤35		≤1000	≤1			
Classe D	≤25	≤35		≤10000	≤1			
Classe E ⁽⁷⁾	≤40	≤60		≤10000				

Referente á utilização de água para reutilização para proteção de culturas agrícolas, florestais e solos são apresentadas no Decreto-Lei n° 119/2019 normas de qualidade referente à concentração de metais bem como a salinidade e a taxa de adsorção de sódio (SAR).

Na Tabela 3.8, é apresentado de forma resumida em que consistem as classes de qualidade da água, restrições de utilização da mesma, caso exista, bem como o nível mínimo de tratamento requerido, sendo que os usos bem como o nível de tratamento são adaptados como já foi referido a partir do relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS) bem como do relatório redigido pela Joint Research Centre (JRC).

⁽⁵⁾ Quando aplicável a culturas agrícolas com finalidade de consumo animal

⁽⁶⁾ Parâmetro facultativo, apenas utilizado em alguns projetos de rega passíveis de formação de biofilme no sistema

⁽⁷⁾ Só aplicado a sistemas descentralizados ou descentralizados em simbiose

Tabela 3.8- Descrição das classes de rega — Usos e nível de tratamento adequado em função das várias classes de qualidade da água

Classes de qualidade	Possíveis usos	Nível de tratamento
Classe A	Rega sem restrição de acesso (agrícola e urbano); Rega de culturas consumidas a cru em que a parte comestível está em contacto direto com a água.	Mais avançado que secundário(desinfecção)
Classe B	Rega com restrição de acesso (agrícola e urbano); Rega de culturas consumidas a cru, que crescem acima do solo, e que a parte consumível não se encontra em contacto direto com a água; Rega de culturas destinadas a processamento, não destinadas a consumo humano, mas sim a consumo animal (produção de carne ou leite) exceto suínos.	
Classe C	Rega com restrição de acesso (agrícola); Rega de culturas consumidas a cru, que crescem acima do solo, e que a parte consumível não se encontra em contacto direto com a água; Rega de culturas destinadas a processamento, não destinadas a consumo humano, mas sim a consumo animal (produção de carne ou leite) exceto suínos.	
Classe D	Rega com restrição de acesso (agrícola); Produção de sementes, sendo estas para uso industrial ou produção de energia.	
Classe E	Rega com restrição de acesso (agrícola); Produção de sementes; Rega de áreas de uso naturalmente restrito.	

São ainda apresentadas no Decreto-Lei nº 119/2019 as normas de qualidade relativas à reutilização de água residual para uso urbano e industrial, contudo, não serão referidas na presente dissertação, visto não ser o cerne da mesma.

No que diz respeito à monitorização da qualidade da água para reutilização a Tabela 3.9, apresenta os parâmetros a serem analisados consoante o tipo de uso a que se destina. Tais parâmetros devem ser amostrados periodicamente variando deste modo com o tipo de utilização, sendo que, para alguns destes parâmetros, é necessária uma amostragem contínua.

Tabela 3.9- Parâmetros a monitorizar nas ApR em função do tipo de usos

Uso	Parâmetros
Rega-qualquer tipo	CBO ₅ ; SST; Turvação; <i>E.coli</i> ; Azoto amoniacal; Azoto total; Fósforo total;
Rega de espaços verdes públicos ou de culturas para consumo animal	Ovos de parasitas intestinais
Rega agrícola	SAR, salinidade
Rega agrícola em sistemas descentralizados em simbiose	Monitorização de parâmetros de risco para as culturas agrícolas e proteção de recursos hídricos (e.g. pesticidas e nutriente)

4. Conclusão

Na presente dissertação efetuou-se uma análise bibliográfica referente a um tema sensível, ainda assim essencial, que pode contribuir para a solução do problema relativo à produção de alimento para sustentar o exponencial crescimento demográfico e ainda o problema associado à falta de água. A solução passa pela produção de culturas vegetais, em sistema hidropónico, utilizando água residual, sendo esta uma excelente fonte de nutrientes. Para tal, foram analisados documentos que regulamentam a reutilização de água residual para reutilização agrícola, a nível mundial, europeu e nacional, bem como os perigos associados à mesma.

Questões de carácter sanitário e de segurança alimentar devem ser levantadas. Ainda assim deve combater-se o paradigma existente relativamente ao tema em questão, visto ter sido anteriormente apresentado por diversos autores resultados positivos acerca desta questão. Um enquadramento convergente direcionado a objetivos de saúde pública, tem vindo a ser desenvolvido, sendo o documento apresentado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) o pioneiro, servindo de referência a outros, como a nível Europeu o «Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation na aquifer recharge», com objetivo de definir um instrumento legal para a reutilização de água residual a nível europeu. Já a nível nacional o Decreto-Lei n.º 119/2019, encontra-se intimamente ligado com os anteriores documentos referidos. Pode assim, a reutilização de água residual, ser a solução para suprir a necessidade de produção de alimentos para oito mil milhões de pessoas, número que se prevê chegar a 10 mil milhões até 2050, visto que, a produção de alimentos a partir de um sistema hidropónico em ambiente controlado, permite, em comparação com a agricultura convencional, áreas necessárias inferiores bem como a quantidades de água utilizada inferiores. Note-se ainda que a utilização de água residual, apresenta ser mais eficiente e sustentável quando comparada com outros meios como a transferência de água e dessalinização para os diversos usos. Deste modo, este mercado mostra-se sub explorado, apresentado um elevado potencial de retorno de investimentos que possam vir a ser efetuados, dado a água ser um ativo com uma procura superior à sua oferta. Para que tal seja possível deve-se utilizar os métodos e ferramentas mais eficientes existentes até à data, dado que falhas nos mesmos podem comprometer a saúde pública e do ecossistema, e o impedimento de funcionamento do mercado, quer de produção de água para reutilização quer do mercado agrícola.

Resultados positivos foram apresentados utilizando MBR, podendo estes ser aeróbicos ou anaeróbicos, visto ser um sistema de tratamento de água residual que apresenta elevada eficiência de funcionamento, permitindo assim recuperar os nutrientes necessários, bem como garantir um tratamento complementar após reutilização e melhorando assim a qualidade da mesma para ser posteriormente descarregada no meio recetor. Outros sistemas de tratamento são passíveis de ser utilizados, ainda assim o MBR pode ser o que apresenta os melhores resultados, quer a nível de recuperação de nutrientes quer a nível de eliminação de patogénicos, permitindo ainda também a possibilidade de aproveitamento de biogás para produção elétrica.

Referências Bibliográficas

- Alcamo, J., Henrichs, T., & Rösch, T. (2000). World's Water in 2025. *Kassel World Water Series 2*, (2), 47. Retrieved from <http://www.usf.uni-kassel.de/usf/archiv/dokumente/kwws/kwws.2.pdf>
- Calabria, J. L. (2014). Wastewater Nutrient Recovery Using Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR) Permeate for Hydroponic Fertigation. University of South Florida. *ProQuest Dissertations and Theses*, 105. Retrieved from http://search.proquest.com/docview/1640747027?accountid=10906%5Cnhttp://zsfx.lib.iastate.edu:3410/sfxlcl41?url_ver=Z39.882004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:dissertation&genre=dissertations+%26+theses&sid=ProQ:ProQuest+Dissertations+%26+Theses+Global&a
- Comissão Europeia. (2015). Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular. *Official Journal of the European Union*, 1–24. Retrieved from http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF
- Curran, O. (2018). Georgia Tech Using Campus Wastewater to Grow Veggies. Retrieved November 30, 2019, from <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/Georgia-tech-using-wastewater-to-grow-veggies.htm>
- Das, O. C., & Europeias, C. (1991). *Diretiva EEC 91/271*. 40–52.
- Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho. (1997). Ministério do Ambiente. *Diário Da República, I-Série A*, 4775–4780. Retrieved from <https://dre.pt/application/conteudo/365343>
- Despommier, D. (2011). The vertical farm: Controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 6(2), 233–236. <https://doi.org/10.1007/s00003-010-0654-3>
- Diário da República, 1.ª série, N.º 15. (2019). *Decreto-Lei n.º 119/2019, PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS*. Retrieved from <https://dre.pt/home/-/dre/124097549/details/maximized>
- EcoCentre. (2018). EcoCentre. Retrieved November 30, 2019, from <https://www.ecocenter.pt/en/hydroponics.html#>
- GroHo. (2019). No Title. Retrieved November 30, 2019, from GroHo Blog website: <https://www.groho.pt/post/o-que-e-a-hidroponia>
- Haddad, M., & Mized, N. (2011). Evaluation of various hydroponic techniques as decentralised wastewater treatment and reuse systems. *International Journal of Environmental Studies*, 68(4), 461–476. <https://doi.org/10.1080/00207233.2011.582701>
- Jesse, S. D., Zhang, Y., Margenot, A. J., & Davidson, P. C. (2019). Hydroponic lettuce production using treated post-hydrothermal liquefaction wastewater (PHW). *Sustainability (Switzerland)*, 11(13), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su11133605>
- JRC. (2017). *Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge*. <https://doi.org/10.2760/887727>
- K. A, P. S. (2018). Study on Use of Waste Water in Hydroponic System Instead of Nutrient Solution. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6(3), 2035–2039. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.3485>
- Kart, J. (2018). Largest-Ever USDA Grant To Grow Vegetables With Wastewater. Retrieved November 30, 2019, from <https://www.forbes.com/sites/jeffkart/2018/12/11/largest-ever-usda-grant-to-grow->

vegetables-with-wastewater/

- Leverenz, H., & Tchobanoglous, G. (2012). Satellite Systems for Enhanced Wastewater Management in Urban Areas. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2009(10), 5592–5608. <https://doi.org/10.2175/193864709793952918>
- Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., & Mditshwa, A. (2020). Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science of The Total Environment*, 698, 134154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134154>
- Metcalf & Eddy. (1995). *Wastewater engineering- Treatment, Disposal, Reuse* (3rd edition). Tata McGraw-Hill.
- Nações Unidas. (2015). Nações Unidas. Retrieved from <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>
- Oyama, N., Nair, J., & Ho, G. (2010). Comparison of pathogen die-off patterns of tomatoes grown in two hydroponics systems. *Technologies and Management for Sustainable Biosystems*, 55–62.
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J. J., Koukoulakis, P., & Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*, 97(9), 1233–1241. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.003>
- Rosas, I. (2014). *Bacteriological Quality of Crops Irrigated with Wastewater in the Xochimilco Plots , Mexico City , Mexico*. (May).
- Simmons, K. (2018). Pilot Project Will Use Campus Wastewater to Grow Vegetables. Retrieved November 30, 2018, from <https://www.news.gatech.edu/2018/10/30/pilot-project-will-use-campus-wastewater-grow-vegetables>
- Tzanakakis, V. E., Paranychianaki, N. V., & Angelakis, A. N. (2007). Soil as a wastewater treatment system: Historical development. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(1), 67–75. <https://doi.org/10.2166/ws.2007.008>
- USDA. (2006). FAIRS Product Specific Maximum Levels of Contaminants in Foods, Peoples Republic of China. *GAIN Report*, 1–11. <https://doi.org/10.1186/1752-1947-3-7295>
- Usepa. (2002). *Watershed Academy Web - Introduction to the Clean Water Act*. (May), 1–90.
- WHO. (2006). *Guidlines for the safe use of waste water, excreta and grey water Volume 2 Wastewater use in agriculture. 2*.
- Yerri, S., & Piratla, K. R. (2019). Decentralized water reuse planning: Evaluation of life cycle costs and benefits. *Resources, Conservation and Recycling*, 141(December 2017), 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.016>