



Otimização do Desempenho Ambiental em Clínicas de Diálise: Análise da Eficiência Hídrica e Energética e Propostas de Sustentabilidade

VASCO MANUEL GARCÊS CORREIA

novembro de 2025

Análise do Desempenho e Propostas de Melhoria da Eficiência Hídrica e Energética em Unidades de Diálise

Vasco Manuel Garcês Correia

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Biomédica**

Orientador: Natércia Lima

Co-orientador: Núria Moreira

Júri:

Presidente:

Joaquim Alves, Professor Adjunto, ISEP

Vogais:

Natércia Lima, Professora Adjunta, ISEP

Núria Moreira, Gestora de Manutenção, Diaverum

Arcelina Marques, Professora Coordenadora, ISEP

Resumo

A diálise é um tratamento utilizado como principal forma de resposta à doença renal crónica (DRC). Contudo, este procedimento está associado a problemas de sustentabilidade, nomeadamente aos elevados consumos de água e de energia. Perante a necessidade crescente de otimizar os recursos dos serviços de saúde, é importante criar planos que equilibrem a eficiência técnica com um desenvolvimento mais sustentável. Neste sentido, a presente dissertação teve como principal objetivo formular um protocolo de diálise mais sustentável através da apresentação de soluções para melhorar a gestão e o funcionamento dos equipamentos envolvidos neste tratamento, verificando a sua aplicabilidade.

Inicialmente, a metodologia consistiu na comparação dos consumos de água e energia antes e após a implementação de diferentes medidas de sustentabilidade em cinco clínicas da Diaverum. Os dados foram normalizados de modo a representar os consumos por tratamento e garantir que as comparações entre clínicas de diferentes dimensões não fossem influenciadas por este fator. Com base nos resultados obtidos nessas clínicas foi desenvolvido um modelo de extrapolação que permitiu prever o efeito global destas medidas quando aplicadas a doze clínicas na região Norte de Portugal.

As medidas abordadas ao longo da pesquisa incluem o sistema de osmose térmica, o sistema *Testomat*, o sistema de reaproveitamento da água rejeitada pela osmose para usos não clínicos e a integração de painéis fotovoltaicos.

Os resultados revelaram reduções significativas nos consumos por tratamento: até 42 % no consumo de água e até 48 % no consumo energético das clínicas iniciais. Quando aplicadas às restantes unidades verificou-se uma poupança média de 29 % e 33 % nos consumos de água e energia, respetivamente, o que equivale a cerca de 22 502 m³ de água e 453 040 kWh de energia poupados por ano.

Conclui-se que a integração de inovações tecnológicas e de procedimentos operacionais sustentáveis minimiza significativamente o impacto ambiental da diálise, favorecendo uma utilização mais eficiente dos recursos e a consequente sustentabilidade do setor da saúde.

Palavras-chave: Diálise, Sustentabilidade, Manutenção, Eficiência Hídrica, Eficiência Energética

Abstract

Dialysis is a treatment used as the main response to chronic kidney disease (CKD). However, this procedure is associated with sustainability issues, namely high water and energy consumption. Given the growing need to optimise healthcare resources, it is important to create plans that balance technical efficiency with more sustainable development. In this sense, the main objective of this dissertation was to formulate a more sustainable dialysis protocol by presenting solutions to improve the management and operation of the equipment involved in this treatment, verifying its applicability.

Initially, the methodology consisted of comparing water and energy consumption before and after the implementation of different sustainability measures in five Diaverum clinics. The data were normalised to represent consumption per treatment and ensure that comparisons between clinics of different sizes were not influenced by this factor. Based on the results obtained in these clinics, an extrapolation model was developed to predict the overall effect of these measures when applied to twelve clinics in northern Portugal.

The measures addressed throughout the research include the thermal osmosis system, the Testomat system, the system for reusing water rejected by osmosis for non-clinical uses, and the integration of photovoltaic panels.

The results revealed significant reductions in consumption per treatment: up to 42 % in water consumption and up to 48 % in energy consumption in the initial clinics. When applied to the remaining units, there was an average saving of 29 % and 33 % in water and energy consumption, respectively, which is equivalent to approximately 22 502 m³ of water and 453 040 kWh of energy saved per year.

It can be concluded that the integration of technological innovations and sustainable operational procedures significantly minimises the environmental impact of dialysis, promoting a more efficient use of resources and the consequent sustainability of the health sector.

Keywords: Dialysis, Sustainability, Maintenance, Water Efficiency, Energy Efficiency

Agradecimentos

O trabalho que apresento é o resultado de um percurso que, apesar de individual, só foi possível graças ao apoio, incentivo e dedicação de muitas pessoas que de diferentes formas contribuíram para que este momento se tornasse realidade. A todas elas, deixo o meu mais sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, à minha orientadora, Professora Natércia Lima, manifesto a minha profunda gratidão pela orientação rigorosa, pela disponibilidade constante e pela partilha de conhecimento ao longo de todo este percurso. A sua exigência aliada à paciência foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

À minha coorientadora, Núria Moreira, agradeço pela atenção, pelos conselhos sempre pertinentes e pela disponibilidade em todos os momentos em que precisei de apoio. A sua visão crítica e o seu contributo científico foram essenciais.

Aos meus colegas de trabalho - Vera, Bruno, Luís e senhor António - expresso o meu sincero agradecimento pelo companheirismo, pela entreatajuda e pelo bom ambiente. A vossa boa disposição e disponibilidade fizeram (e fazem) toda a diferença.

Aos meus amigos da faculdade - AP, Bárto, Gonçalo, Ricardo, Rafael, Maria, Mariana e Kinha - agradeço por todos os momentos de partilha, pelas conversas, pelas gargalhadas e por tornarem esta caminhada muito mais leve e enriquecedora. Um agradecimento especial à Rafaela, à Inês e à Ana, pela amizade genuína, pelo apoio constante e por me lembrarem, mesmo nos dias mais desafiantes, da importância de acreditar e seguir em frente. A vossa presença é fundamental.

Aos meus amigos de sempre - Puig, Kiko, Santi, Moura, Zé, Tiago, Nelson e João - deixo o meu sincero obrigado pela amizade de longa data, pela energia positiva e pela forma como sempre estiveram presentes, mesmo à distância. Obrigado por me ajudarem a manter o equilíbrio entre o trabalho e os bons momentos de descontração.

Por fim, quero expressar o meu mais profundo agradecimento à minha família: aos meus pais, pelo amor incondicional, pela confiança e por me ensinarem, com o exemplo, o valor do esforço, da honestidade e da perseverança; à minha irmã, pela amizade e cumplicidade que tornam tudo mais fácil; à minha avó e tio, pelo carinho, pelas palavras de apoio e pela força que sempre me transmitiram; e em especial à minha cadela Noah, pela companhia silenciosa, mas sempre reconfortante e presente.

A todos os que, de uma forma ou de outra, contribuíram para esta etapa, o meu mais sincero obrigado.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Apresentação da Empresa	3
1.3	Estrutura	5
2	Enquadramento Teórico	8
2.1	Os Rins e a Doença Renal Crónica	8
2.2	Diálise	10
2.2.1	Tipos de Diálise	10
2.2.2	Mecanismos Associados ao Tratamento	12
2.2.3	Monitorização da Eficácia	14
2.2.4	Normas e Regulamentações	15
2.3	Equipamentos e Sistemas Utilizados em Diálise	18
2.3.1	Monitores de Diálise	18
2.3.2	Unidades de Tratamento de Água	20
2.3.3	Cadeiras de Tratamento	26
2.3.4	Central de Concentrados	27
2.4	Manutenção de equipamentos	28
2.4.1	Manutenção Preventiva de Monitores de Diálise	29
2.4.2	Manutenção de Unidades de Tratamento de Água	32
3	Sustentabilidade e Otimização de Recursos	36
3.1	Consumo de Água e Energia na Diálise	36
3.2	Estratégias para Reduzir o Impacto Ambiental	38
3.3	Análise Comparativa de Métodos de Otimização	40
4	Componentes e Métodos de Análise	44
4.1	Local de Estudo	44
4.2	Intervenções e Datas de Implementação	45
4.3	Origem e Recolha de dados	48
4.4	Abordagem Analítica	51
4.4.1	Análise Pré e Pós-Intervenção	51
4.4.2	Comparações de Métodos	51
4.5	Estratégia de Extrapolação	52
5	Resultados e Discussão	54
5.1	Análise de Dados	54
5.1.1	Estrutura e Normalização dos Dados	54
5.1.2	Análise de Tendências	61

5.1.3	Comparação de Medidas	67
5.2	Implementação e Avaliação de Propostas de Otimização	74
5.2.1	Metodologia de Extrapolação.....	74
5.2.2	Simulação e Discussão	78
5.2.3	Comparação com Literatura	86
6	Conclusões e Perspetivas Futuras	89
6.1	Conclusão	89
6.2	Perspetivas Futuras	91
	Referências.....	94

Lista de Figuras

Figura 1 – Logo Diaverum e localização das clínicas no mundo (Diaverum, 2025a).....	4
Figura 2 – Os rins (Linhares & Lourenço do Carmo, 2023).....	9
Figura 3 – Dialisador Nipro (NIPRO, n.d.-a).....	12
Figura 4 – Acessos vasculares: a) FAV (CARDIAC VASCULAR SENTRAL, n.d.); b) EAV (Naxlex, n.d.); c) CVC (Tennebar, n.d.).....	13
Figura 5 – Esquema do circuito sanguíneo externo (NIKKISO, 2021a).....	14
Figura 6 – Ligação entre paciente e monitor (SurdialX Training Series, n.d.).....	19
Figura 7- a) Monitor de diálise <i>Nikkiso DBB-EXA</i> (NIKKISO, n.d.); b) Monitor de diálise <i>Nipro SurdialX</i> (NIPRO, n.d.-c).....	20
Figura 8 – Esquema do funcionamento da unidade de tratamento de água da clínica de Vila do Conde.....	21
Figura 9 – Unidade de tratamento de água da clínica de Vila do Conde.....	21
Figura 10 – Filtro multimédia da clínica de Paredes.....	22
Figura 11 – Sistema de cloração da clínica de Marco de Canaveses.....	23
Figura 12 – Filtros de carvão ativado da clínica de Paredes.....	23
Figura 13 – Descalcificadores e tanques de salmoura da clínica de Marco de Canaveses.....	24
Figura 14 – Sistema de microfiltros pré-osmose da clínica de Marco de Canaveses.....	24
Figura 15 – Osmoses inversas 1 e 2 da clínica de Paredes.....	25
Figura 16 – Cadeirão de tratamento <i>Actualway Serie II</i>	27
Figura 17 – Central de concentrados da clínica de Marco de Canaveses.....	27
Figura 18 – Vista posterior do monitor de diálise Nipro SurdialX (NIPRO, n.d.-b).....	30
Figura 19 – Fluxograma do processo de manutenção dos monitores de diálise.....	31
Figura 20 – Fluxograma do processo de manutenção das unidades de tratamento de água.....	34
Figura 21 – Sistema <i>Testomat</i>	45
Figura 22 – Controlador dos painéis fotovoltaicos com mostrador da produção.....	46
Figura 23 – Sistema de osmose inversas com desinfecção térmica da clínica de Marco de Canaveses.....	47
Figura 24 – Consumos de água da clínica de Aveiro: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).....	61
Figura 25 – Consumos de água da clínica de Vila do Conde: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).....	62
Figura 26- Consumos de eletricidade da clínica de Aveiro: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).....	64
Figura 27 – Consumos de eletricidade da clínica de Vila do Conde: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).....	64
Figura 28 – Consumos de eletricidade da clínica de Paredes: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).....	65

Figura 29- Consumos de água da clínica de Entrecampos: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).....	66
Figura 30 – Consumos de água da clínica de Linda-a-Velha: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).....	67
Figura 31 – Variações dos consumos nas clínicas piloto pré e pós implementações: a) Água; b) Eletricidade.	69
Figura 32 – Variação percentual dos consumos de água antes e após as implementações.	71
Figura 33 – Variação percentual dos consumos de eletricidade antes e após as implementações.....	72
Figura 34 – Evolução sazonal dos consumos de águas pós-intervenção nas clínicas: a) Aveiro e b) Vila do Conde.	72
Figura 35 – Evolução sazonal dos consumos de eletricidade pós-intervenção nas clínicas: a) Aveiro; b) Paredes; c) Vila do Conde.....	73
Figura 36 – Poupanças hídricas anuais nas clínicas da região Norte.	81
Figura 37 – Poupanças energéticas anuais nas clínicas da região Norte.	82
Figura 38 – Redução percentual do consumo hídrico nas clínicas da região Norte.	85
Figura 39 – Redução percentual do consumo energético nas clínicas da região Norte.	85

Lista de Tabelas

Tabela 1- Métodos de otimização na hemodiálise e respetivos consumos, vantagens e desvantagens.	42
Tabela 2- Medidas aplicadas nas clínicas piloto e as respetivas datas de aplicação.	47
Tabela 3 – Características operacionais das clínicas (Número de postos, Turnos semanais e Capacidade).....	50
Tabela 4- Consumos de água (2018 a 2020) e de eletricidade (2023 a 2025) da clínica de Vila do Conde.	56
Tabela 5- Consumos de água (2022 a 2024) e de eletricidade (2023 a 2025) da clínica de Aveiro.	57
Tabela 6- Consumos de eletricidade (2023 a 2025) da clínica de Paredes.	58
Tabela 7- Consumos de água (2024 e 2025) da clínica de Linda-a-Velha.	59
Tabela 8- Consumos de água (2023 a 2025) da clínica de Entrecampos.	60
Tabela 9- Valores pré e pós implementações dos consumos de água e eletricidade, das variações e dos índices de ocupação.	68
Tabela 10- Valores de referência para cada implementação e as respetivas clínicas.	75
Tabela 11- Faixas de consumos, classificações e fatores de correção.....	75
Tabela 12- Poupanças hídricas e energéticas anuais das clínicas da região Norte.....	79
Tabela 13- Consumos hídricos e energéticos, reais e simulados, e respetivas reduções percentuais.....	83

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

BVM	<i>Blood Volume Monitoring</i>
CVC	Cateter Venoso Central
DP	Diálise Peritoneal
DRC	Doença Renal Crónica
EAV	Enxerto Arteriovenoso
EUDAMED	<i>European Database on Medical Devices</i>
eGFR	<i>Estimated Glomerular Filtration Rate</i>
FAV	Fístula Arteriovenosa
HD	Hemodiálise
HDF	Hemodiafiltração
HDi	Hemodiálise Incremental
ICDs	Indicadores-Chave de Desempenho
IUD	Sistema de Identificação Única de Dispositivos
MC	Manutenção Corretiva
MP	Manutenção Preventiva
OMS	Organização Mundial de Saúde
RDM	Regulamento dos Dispositivos Médicos
RO	<i>Reverse Osmosis</i>
UE	União Europeia
uACR	<i>Urine Albumin-Creatinine Ratio</i>
URR	<i>Urea Reduction Ratio</i>

UTAs Unidades de Tratamento de Água

VBHC *Value Based Healthcare*

Lista de Símbolos

ΔC Variação absoluta dos consumos

$\Delta C \%$ Variação relativas dos consumos, em percentagem

1 Introdução

O impacto das doenças renais crónicas tem vindo a aumentar progressivamente, resultando num acréscimo da dependência da diálise como um tratamento fundamental para milhares de pessoas em todo o mundo. Este tratamento depende essencialmente de equipamentos médicos e sistemas complexos que têm de funcionar corretamente de forma a garantir a segurança dos pacientes. Contudo, existem desafios complexos associados ao impacto ambiental deste procedimento, nomeadamente relacionados com um consumo de água excessivo e uma elevada necessidade energética (Nagai & Itsubo, 2022).

Com o aumento do número de doentes em programas de diálise, a procura de equipamento eficaz, instalações adequadas e processos otimizados também tem vindo a aumentar. O equipamento utilizado na diálise representa tecnologia de ponta e é construído para funcionar em ambientes clínicos exigentes, onde a fiabilidade e a integridade são essenciais. A ocorrência de uma falha ou deterioração do monitor de diálise ou de um equipamento de tratamento de água pode comprometer os padrões do tratamento e colocar em risco a saúde do doente (Canaud, Davenport, et al., 2024). A função técnica destas máquinas requer, por isso, técnicos com formação adequada, normas de manutenção rígidas e reação imediata a problemas que surjam, pelo que a gestão se torna o componente-chave para a prestação de cuidados de saúde de qualidade.

Entre os principais problemas ambientais associados à diálise, o que mais se destaca é o uso excessivo de água. Durante um tratamento de diálise pode ser necessária uma quantidade exorbitante de água tratada, a maior parte da qual é descartada após utilização, resultando num grande esgotamento dos recursos hídricos (Ruiz et al., 2024). Simultaneamente, o

funcionamento das máquinas de diálise e dos equipamentos de tratamento de água requer o fornecimento contínuo e considerável de eletricidade, o que resulta num aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2) do processo de tratamento.

Recentemente, várias organizações internacionais enfatizaram a possibilidade de tornar os cuidados de saúde mais sustentáveis, recomendando abordagens políticas ecológicas como a implantação de políticas de eficiência hídrica, entre muitas outras. Nomeadamente, a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou diretrizes que encorajam os sistemas de saúde a adotarem práticas ecologicamente sustentáveis. No âmbito da diálise, as recomendações estabelecidas enfatizam a importância de monitorizar os marcadores ambientais e do investimento em sistemas mais eficientes para a minimização dos resíduos. No entanto, com o aumento da consciencialização, a transição para práticas mais sustentáveis em ambientes clínicos tem sido bastante gradual. Uma verdadeira mudança passa não só pela revisão de comportamentos, mas também pela alteração do planeamento de sistemas e pela gestão de tecnologias e procedimentos (World Health Organization, 2020).

A origem deste trabalho reside na forte necessidade de abordar dois requisitos críticos no contexto atual da diálise: a garantia de um desempenho técnico fiável do equipamento de diálise e a mitigação do seu impacto ambiental. Com o aumento da necessidade de serviços de diálise e a crescente utilização de recursos, as instalações clínicas enfrentam um desafio acrescido em termos de funcionamento eficiente, de modo a garantir um desenvolvimento sustentável. A relevância da manutenção na redução do desperdício de água e de energia é um tema que carece de investigação, apesar do papel fundamental que a manutenção desempenha para garantir a segurança dos doentes e a vida útil do equipamento. Esta é a lacuna que a presente tese visa colmatar, através da investigação dos procedimentos de manutenção existentes, das deficiências e da potencial falta de sustentabilidade, enquanto fornece alternativas funcionais para solucionar eventuais falhas.

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste projeto consiste em formular um conjunto de recomendações para uma prática de diálise mais sustentável através do fornecimento de soluções relacionadas com melhorias na gestão e funcionamento dos equipamentos envolvidos no processo de diálise. Esta proposta explorará a forma como as atuais práticas de manutenção afetam a sustentabilidade

e investigará as metodologias de minimização de resíduos, que não comprometem a eficiência do tratamento. O estudo consistirá na análise e extrapolação de uma série de medidas práticas para melhorar, pelo menos, o desempenho técnico e ecológico destes sistemas.

Inicialmente será realizada uma avaliação e comparação de cinco clínicas de diálise, com base em várias medidas de sustentabilidade hídrica e energética. Entre as medidas mencionadas serão abordadas: a implementação de sistemas de osmose térmica, a aplicação do sistema *Testomat*, a reutilização da água rejeitada pela osmose inversa (RO, do inglês, “*Reverse Osmosis*”) e a instalação de painéis fotovoltaicos. Desta forma, será possível quantificar os ganhos de eficiência obtidos após a sua implementação. A partir destes resultados, será elaborado um modelo de extrapolação para projetar o potencial de melhoria das clínicas Diaverum Portugal no norte, oferecendo uma visão global da redução dos consumos e do aumento da eficiência ambiental. Em suma, este estudo procurou demonstrar que a implementação de soluções tecnológicas e operacionais sustentáveis pode otimizar simultaneamente o desempenho técnico e ecológico dos sistemas de diálise, permitindo uma prática clínica mais eficiente e responsável.

1.2 Apresentação da Empresa

O presente estudo foi realizado na Diaverum, uma empresa multinacional com sede em Malmö, na Suécia, e um fornecedor mundial de cuidados renais especializados. A missão estabelecida pela Diaverum é proporcionar cuidados renais que melhorem a qualidade de vida dos doentes com doença renal crónica (DRC) garantindo a segurança e a eficácia clínica e, ao mesmo tempo, promovendo o bem-estar do doente e a personalização dos cuidados (Diaverum, 2025b).

A Diaverum iniciou a sua atividade em 1991 como uma filial da Gambro, uma empresa sueca, para a produção de máquinas de diálise. Nesse mesmo ano, a Gambro entrou numa era de rápida expansão no estrangeiro, quando, pela primeira vez, abriu uma unidade de diálise em Lund, na Suécia. Em 2007, a Gambro *Healthcare* passou a chamar-se Diaverum e iniciou um novo caminho para definir os cuidados renais e aumentar a acessibilidade global à diálise. A Diaverum é atualmente o maior prestador europeu independente de serviços renais, gerindo cerca de 450 clínicas em 24 países e prestando cuidados a aproximadamente 42 000 pessoas em todo o mundo, conforme é comprovado na Figura 1. A Diaverum é propriedade do grupo

M42, uma empresa global de saúde dedicada a cuidados de saúde responsáveis e tecnológicos (Diaverum, 2025d).



Figura 1 – Logo Diaverum e localização das clínicas no mundo (Diaverum, 2025a).

Há mais de 25 anos que a Diaverum está estabelecida no setor de cuidados renais em Portugal. A empresa abriu a primeira clínica em 1998 e posteriormente expandiu-se através da aquisição de várias clínicas ao longo do país. Em 2007, com o *rebranding* global, passou a ser conhecida pelo nome Diaverum Portugal. Existem atualmente 28 clínicas distribuídas por todo o país, 12 clínicas na região Norte, 5 clínicas na região Centro e 11 clínicas na zona de Lisboa e Vale do Tejo. A empresa alberga mais de 1500 profissionais e presta serviços a cerca de 3500 doentes. Para além dos tratamentos de diálise, todas as clínicas dispõem de acompanhamentos nutricionais, psicossociais e farmacêuticos, bem como da utilização de tecnologias médicas modernas de apoio aos pacientes (Diaverum, 2025c).

Ao longo dos anos, a Diaverum Portugal estabeleceu uma série de inovações, entre as quais se destaca o modelo de Cuidados Coordenados que, desde 2014, aposta num círculo de profissionais que rodeiam o doente com uma ótica de valorização e de envolvimento do mesmo no seu tratamento. Em 2018, a empresa implementou os princípios do *Value Based Healthcare* (VBHC), que incluíram a integração de processos de cuidados baseados em resultados no modelo de Cuidados Coordenados. Além disso, em conjunto com o Ministério da Saúde português, a Diaverum estruturou-se para possibilitar uma gestão interna dos medicamentos,

testes laboratoriais, diagnósticos e, mais tarde, a gestão de intervenções como cirurgias vasculares e transfusões sanguíneas (Diaverum, 2025c).

1.3 Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, estruturados de forma a apresentar uma progressão coerente desde o enquadramento teórico até a implementação prática e apresentação dos resultados. O objetivo desta organização assenta em facilitar a compreensão e enfatizar as principais contribuições do estudo para a sustentabilidade das clínicas de diálise da Diaverum Portugal.

No presente capítulo é elaborado o enquadramento teórico com foco nos impactos ambientais da diálise e na necessidade de otimizar a utilização de recursos nos centros de diálise. Também são definidos os objetivos do estudo e é apresentada a Diaverum Portugal, empresa onde foi realizado o estudo.

O capítulo 2 apresenta uma análise mais abrangente do enquadramento, sintetizando os conceitos essenciais da função renal e as várias formas de tratamento da DRC por diálise. São descritos os sistemas técnicos e equipamentos utilizados, juntamente com as práticas e requisitos de manutenção que sustentam a segurança, qualidade e fiabilidade dos procedimentos clínicos.

De seguida, o capítulo 3 debruça-se no tema da sustentabilidade na diálise, abordando os consumos de água e energia nos tratamentos, bem como os mecanismos de otimização mais comuns identificados na literatura. A revisão da literatura permite colocar em perspetiva as medidas de eficiência ambiental e confirmar as soluções estudadas ao longo do trabalho.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia seguida, onde são descritas as clínicas em análise, a abordagem implementada e os indicadores aplicados para normalizar os consumos. São apresentados também os métodos de extrapolação utilizados para projetar os ganhos de eficiência observados nas clínicas piloto para as clínicas no Norte.

No capítulo 5 são resumidos os resultados recolhidos e a discussão subsequente, explorando o impacto das medidas de sustentabilidade no desempenho hídrico e energético das clínicas. São abordadas as reduções alcançadas, os padrões sazonais, as disparidades entre clínicas e as

melhorias obtidas na extrapolação, juntamente com uma comparação com os valores registrados na literatura.

O capítulo 6 fornece as conclusões do projeto, refletindo sobre as contribuições gerais da investigação, bem como o seu valor prático.

Por fim, no capítulo 7, são apresentadas sugestões de pesquisas futuras, com o objetivo de promover uma diálise mais sustentável e energeticamente eficiente.

2 Enquadramento Teórico

Ao longo deste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos que permitem compreender a origem e os princípios dos sistemas técnicos da diálise. Para tal, serão abordados temas como a anatomia renal e a doença renal crónica, a diálise enquanto tratamento, os processos fisiológicos envolvidos na diálise, a monitorização da eficácia e as principais normas e regulamentações. O capítulo termina com uma descrição dos equipamentos e dos processos de manutenção que garantem a segurança, a fiabilidade e a qualidade do tratamento.

2.1 Os Rins e a Doença Renal Crónica

Os rins são órgãos de cor castanho-avermelhada e com formato de feijão (sinalizados na Figura 2) localizados na região posterior do abdómen, atrás do peritoneu (retroperitoneais) e laterais à coluna vertebral. Estes órgãos estendem-se da vértebra torácica T12 até à vértebra lombar L3, apresentando por isso três vértebras de altura. A posição do rim direito é ligeiramente inferior à do rim esquerdo devido ao fígado. As glândulas suprarrenais estão diretamente acima de cada um dos rins num compartimento específico na fáscia renal, um revestimento de tecido conjuntivo que envolve os rins (Jones, 2025).

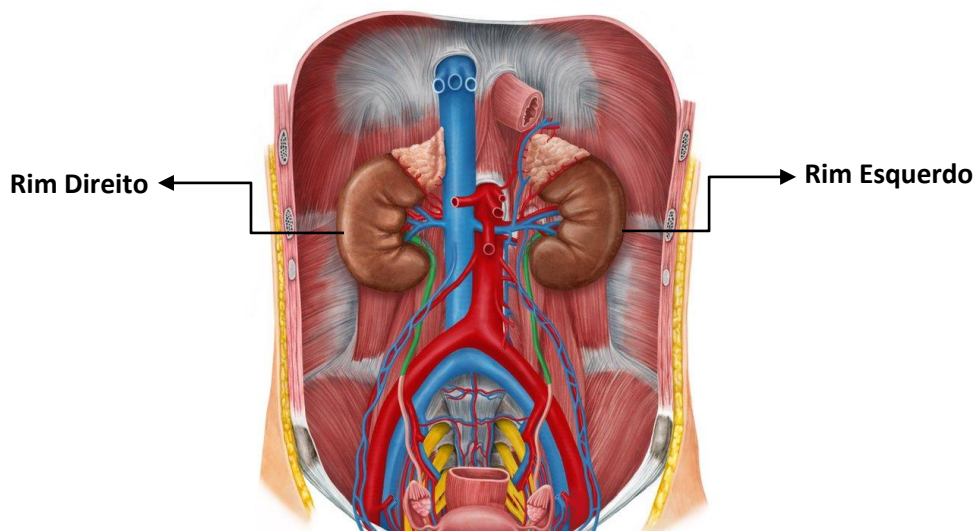


Figura 2 – Os rins (Linhares & Lourenço do Carmo, 2023).

Estes órgãos ajudam a manter a homeostasia do corpo ao desempenharem funções como a purificação do sangue, a eliminação de substâncias indesejadas e água em excesso, a regulação do equilíbrio ácido-base e a manutenção das concentrações de certos minerais (sódio, potássio, cálcio e fosfato) importantes para garantir o correto funcionamento dos nervos e músculos. Cerca de 150 litros de sangue são purificados por dia, sendo renovados todos os minerais e nutrientes e eliminados aproximadamente 2 litros de resíduos sob a forma de urina, que circula dos ureteres para a bexiga e, de lá, é excretada pela uretra (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 2018).

Localizados nos rins existem cerca de um milhão de pequenas unidades de filtração chamados nefrónios. Cada nefrónio constitui dois túbulos, num dos túbulos circula água e pequenas moléculas filtradas por um glomérulo, retendo proteínas e células sanguíneas, no outro túbulo ocorre a reabsorção de compostos essenciais e a eliminação do excesso de ácido (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 2018).

As funções renais podem ser quantificadas através de testes que detetam sinais iniciais de problemas renais. A taxa de filtração glomerular estimada (eGFR, do inglês, “*Estimated Glomerular Filtration Rate*”) utiliza os níveis de creatinina detetados no sangue para estimar a capacidade de filtração dos rins, ao passo que a taxa de albumina-creatina na urina (uACR, do inglês, “*Urine Albumin-Creatinine Ratio*”) avalia a excreção anormal de proteínas na urina, a qual pode ser um indicador de lesões nas unidades de filtração renal. Combinados, estes testes fornecem uma melhor avaliação do estado de saúde renal e facilitam a implementação de

intervenções atempadas para prevenir a progressão da doença (NKF Patient Education Team, 2024).

A doença renal crónica, ou DRC, é o termo que define anormalidades estruturais ou funcionais nos rins com duração superior a três meses, com efeitos na saúde. Geralmente é diagnosticada por um valor de eGFR inferior a 60 mL/min/1.73 m² ou pela presença de danos já existentes nos rins, como albuminúria, anomalias detetadas na urina ou através de imagem. A doença é avaliada em cinco estádios de insuficiência renal (até à falha renal) e não apresenta sintomas numa fase inicial (Charles & Ferris, 2020).

A DRC é um problema crescente para a saúde pública a nível mundial, afetando mais de 800 milhões de pessoas. A sua disseminação é determinada pela idade da população, por fatores de risco associados ao estilo de vida e por condições como a diabetes e a hipertensão. Também o impacto socioeconómico desta doença é elevado, uma vez que as possíveis soluções, como a diálise e os transplantes, estão entre as intervenções mais dispendiosas nos cuidados de saúde hospitalares, representando 2 % do orçamento total dos cuidados de saúde em determinados países (Borg et al., 2023; Kovesdy, 2022)

2.2 Diálise

A diálise, introduzida pela primeira vez na década de 40 e consolidada como a principal forma de resposta em caso de falência renal na década de 70, é um tipo de tratamento que ajuda o corpo a remover fluidos extra e resíduos, tal como ureia, creatinina e ácidos, do sangue quando os rins ficam incapazes de o fazer. Atualmente a diálise pode ser realizada num hospital, numa clínica de diálise ou na própria residência (NKF Patient Education Team, 2023).

2.2.1 Tipos de Diálise

A hemodiálise (HD) é o tipo de tratamento de substituição renal mais comum e consiste num circuito extracorporal no qual o sangue do paciente é bombeado através de uma membrana semipermeável, constituinte do dialisador. Esta membrana retém as substâncias tóxicas e o excesso de líquidos mediante trocas com um fluido dialisante, o que leva conseqüentemente à limpeza do sangue. De uma forma geral, nas clínicas são realizadas três sessões de hemodiálise por semana por paciente, cada uma com uma duração total aproximada de 4 horas (Durham Nephrology, n.d.).

Um dos métodos alternativos à hemodiálise é a diálise peritoneal (DP), que não requer um sistema de filtração extracorporal. Neste caso utiliza-se o revestimento do peritônio, localizado dentro da cavidade abdominal, como um filtro natural. O fluido dialisante é administrado com recurso a um cateter previamente implantado e, após um período de contacto com o fluido, os resíduos metabólicos são difundidos no mesmo que mais tarde é drenado. A DP pode ser efetuada manualmente pelos próprios pacientes ao longo do dia ou pode ser realizada à noite, com recurso a um equipamento, permitindo períodos de bem estar mais longos durante o dia (Durham Nephrology, n.d.; University of Maryland Medical Center, n.d.).

A hemodiafiltração (HDF) é uma técnica híbrida que envolve a eliminação difusiva característica da hemodiálise e o transporte convectivo característico da hemofiltração, permitindo assim uma melhor eliminação de moléculas de tamanho médio e pequeno. A HDF de alto fluxo permite uma troca convectiva eficaz com preservação da eficácia do tratamento e da estabilidade hemodinâmica. A análise clínica indica que a HDF pode minimizar os fatores inflamatórios e os problemas cardiovasculares em comparação com a hemodiálise de alto fluxo, mas requer monitores de diálise com essa opção e água ultrapura de condutividade baixa (Caskey et al., 2022; Locatelli et al., 2018).

Quando comparadas, todas as abordagens permitem a limpeza eficaz do sangue apesar de possuírem metodologias e necessidades diferentes. A HD é o método mais desenvolvido e mais comum em clínicas de diálise. Esta técnica é caracterizada pelo uso da difusão para remover as impurezas e excessos do sangue e pelo recurso a horários de tratamento estritos. A PD é uma opção de diálise autónoma que pode ser feita em casa, o que diminui a dependência de centros clínicos, mas exige orientação para o paciente e medidas rigorosas de prevenção de infeções. Nomeadamente nos idosos, os dados apontam que a DP está associada a uma maior taxa de mortalidade a longo prazo quando comparada com a HD ou HDF, principalmente em diabéticos ou pacientes com várias doenças (Cheng et al., 2024; Raoofi et al., 2023). A HDF permite o uso de sistemas de transporte difusivos e convectivos e é um avanço técnico da HD. Contudo, depende da garantia de qualidade da água ultrapura e de equipamentos com capacidade de execução da técnica (Caskey et al., 2022). Mesmo com o mesmo objetivo final de preservar a remoção de solutos e o equilíbrio hídrico, a sua aplicabilidade é definida através de uma interação entre as características do paciente, a capacidade dos recursos e o apoio da infraestrutura da unidade de saúde.

2.2.2 Mecanismos Associados ao Tratamento

A hemodiálise envolve três processos essenciais: difusão, convecção e adsorção. A difusão é o mecanismo para a remoção de pequenas toxinas solúveis em água, como a ureia e a creatinina, e ocorre através das membranas pelo movimento passivo de moléculas ao longo do gradiente de concentração do sangue. São usados gradientes de pressão transmembranares na remoção de água plasmática e solutos dissolvidos por convecção para controlar o volume e para a eliminação de macromoléculas. O termo adsorção descreve a adesão de moléculas nos poros e na superfície externa das membranas semipermeáveis do dialisador. Atua como um sistema que aumenta a remoção de toxinas específicas de peso molecular intermédio, ligadas a proteínas. É importante realçar que estes processos não são independentes, pelo contrário, são sinérgicos de modo a alcançar a homeostasia e compensar a perda da função renal (Raharjo et al., 2022; Santoro & Zucchelli, 2024).

O dialisador, frequentemente apelidado de "rim artificial", é um filtro artificial onde estes mecanismos ocorrem (Figura 3). A sua estrutura consiste em milhares de fibras ocas produzidas a partir de polímeros sintéticos biocompatíveis que oferecem uma área extensa de superfície para as trocas entre os blocos sanguíneo e dialítico. As propriedades da membrana do dialisador, nomeadamente a permeabilidade, a distribuição do tamanho dos poros e a condutividade hidráulica, são determinantes finais da eficácia do tratamento. O fluido dialisante complementa a função do dialisador, atuando como a solução que realiza trocas com o sangue e proporciona o ambiente químico necessário para que estas mesmas trocas ocorram. É composto por água ultrapura, concentrado ácido e bicarbonato, que estabelecem os gradientes necessários para uma difusão ideal, garantindo simultaneamente o equilíbrio ácido-base e eletrolítico do paciente (Mitra & Mitsides, 2016; Ronco & Clark, 2018).



Figura 3 – Dialisador Nipro (NIPRO, n.d.-a).

Um acesso vascular fiável é crucial para ligar a circulação do paciente ao circuito de hemodiálise extracorporeal e, no caso da hemodiálise, fornece a interface primária para o tratamento. Existem três tipos de acesso vascular: a fístula arteriovenosa (FAV), em que uma artéria é

conectada a uma veia, idealmente no antebraço, para amplificar e fortalecer a região da veia com maior perfusão e é o acesso mais utilizado por ser o que tem a maior durabilidade e menor risco de infecções a longo prazo (Figura 4 (a)); o enxerto arteriovenoso (EAV), que consiste na implantação de um enxerto sintético macio entre uma artéria e uma veia, destinado a pacientes com vasos nativos inutilizáveis, para proporcionar um ponto de punção repetida (Figura 4 (b)); o cateter venoso central (CVC), um cateter que é colocado dentro de um feixe venoso central, como a veia jugular ou a femoral, e embora utilizado para emergências ou uso temporário, o que mais o caracteriza são os altos índices de infecções, trombozes e estenoses (Figura 4 (c)). O acesso vascular, independentemente da técnica utilizada, é a entrada e saída da circulação extracorporeal, sendo por isso, considerado como que a “linha de vida” do procedimento da hemodiálise (Kavurmacı, 2023; Viecelli & Lok, 2019).

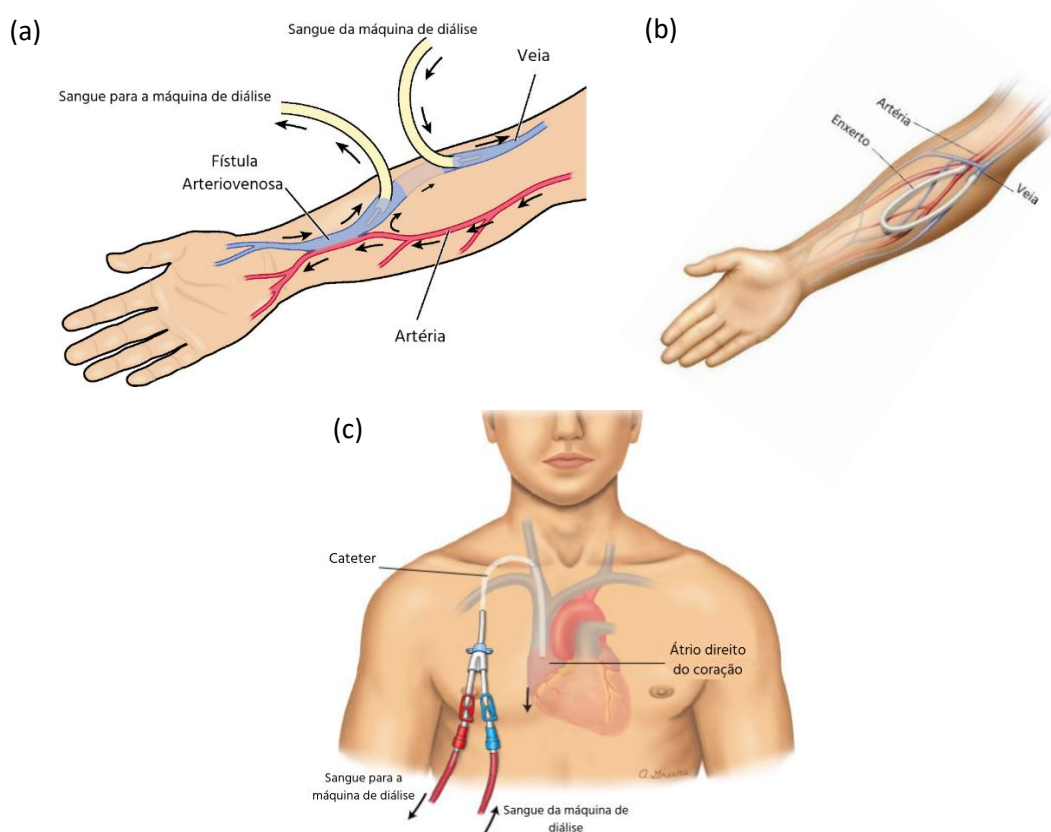


Figura 4 – Acessos vasculares: a) FAV (CARDIAC VASCULAR SENTRAL, n.d.); b) EAV (Naxlex, n.d.); c) CVC (Tennebar, n.d.).

Assim que o acesso é estabelecido, o fluxo sanguíneo pode passar pelo circuito extracorporeal representado na Figura 5 que, juntamente com o circuito de dialisante, fornece o suporte principal para o tratamento. No circuito sanguíneo extracorporeal, o sangue é retirado do paciente através de uma agulha arterial ou de um cateter e é conduzido pelo sistema através de uma bomba peristáltica, contando com a adição de um anticoagulante para evitar a coagulação no dialisador. O sangue purificado é posteriormente devolvido ao paciente através da linha venosa. A trabalhar em conjunto com este sistema está o circuito de dialisante, que fornece um fluxo constante de solução dialisante com concentrações e temperaturas de eletrólitos medidas com precisão. Esta solução flui na direção oposta ao sangue, ajudando na difusão e ultrafiltração (Mitra & Mitsides, 2016). A função simultânea dos dois circuitos não só ajuda na remoção de solutos e no controlo de fluidos, como também o faz de forma a manter o paciente protegido, graças a sistemas de monitorização e alarmes que podem identificar possíveis alterações na pressão, bolhas de ar ou desconexão da linha (Alcalde-Bezhold et al., 2021).

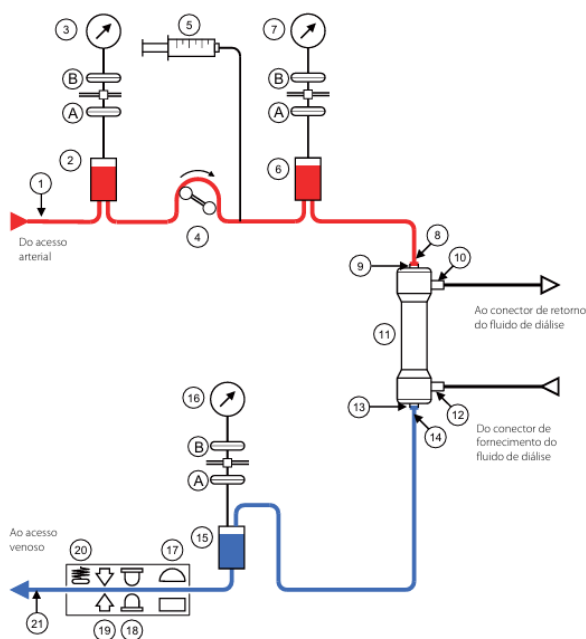


Figura 5 – Esquema do circuito sanguíneo externo (NIKKISO, 2021a).

2.2.3 Monitorização da Eficácia

A eficácia da hemodiálise é, na maioria das vezes, avaliada recorrendo à cinética da ureia, com o índice Kt/V e a taxa de redução da ureia (URR, do inglês, “Urea Reduction Ratio”) como as

medidas clínicas mais aceites. O Kt/V mede a proporção de ureia corporal eliminada durante uma sessão de diálise, através da combinação da taxa de depuração do dialisador, a duração da sessão e o volume de distribuição da ureia do paciente. Por outro lado, a URR compara apenas as concentrações relativas de ureia antes e depois da diálise. Apesar do seu uso generalizado, estes índices refletem principalmente a limpeza dos solutos de menor dimensão, excluindo moléculas de dimensão média e toxinas ligadas a proteínas (Daugirdas, 2025). Na tentativa de superar essas limitações, foram inventadas tecnologias de monitorização *online*, nomeadamente sensores ultravioleta e de fluorescência, que permitem monitorizar em tempo real as concentrações de solutos no dialisante, permitindo a avaliação da adequação a uma lista alargada de toxinas urémicas (Uhlín & Fridolin, 2023).

Em conjunto com os índices bioquímicos são necessários sistemas de monitorização clínica e técnica para garantir a segurança do paciente. O controlo da pressão arterial durante a diálise é especialmente crucial, uma vez que a maioria dos pacientes com doença renal crónica apresenta ritmos circadianos anormais, tais como a hipertensão noturna e os padrões de queda da pressão arterial. Estas alterações estão intimamente ligadas à regressão acelerada da função renal, mesmo na ausência de hipertensão diurna evidente (Huarong et al., 2025). Atualmente os monitores de diálise incorporam vários recursos de segurança, como alarmes de pressão e de condutividade, *bypass* automático para impedir a administração de fluido dialisante inseguro, detetores de fuga de sangue e detetores de bolhas de ar, diminuindo assim a probabilidade de complicações agudas, como a hemólise, a embolia e os distúrbios eletrolíticos (Uhlín & Fridolin, 2023).

2.2.4 Normas e Regulamentações

Os contaminantes químicos e microbianos presentes na água, nos concentrados ou no fluido dialisante final podem gerar uma ampla gama de problemas, desde respostas inflamatórias até à amiloidose associada à diálise. As normas e padrões europeus foram elaborados de modo a uniformizar os requisitos de qualidade, os procedimentos de vigilância e os protocolos de otimização, num esforço para mitigar esses riscos. Os regulamentos proporcionam assim um aumento da segurança dos pacientes ao imporem padrões comuns para os equipamentos e a preparação de fluidos (Pérez-García et al., 2016).

A norma internacional ISO 23500 aborda a "Preparação e gestão da qualidade de fluidos para hemodiálise e terapias relacionadas" e encontra-se dividida em cinco partes:

- **ISO 23500-1:2024** – Requisitos gerais (International Organization for Standardization, 2024a)
São estabelecidas as regras e princípios fundamentais para a preparação e gestão da qualidade do fluido utilizado na hemodiálise, fornecendo a base para as partes subsequentes.
- **ISO 23500-2:2024** – Equipamento de tratamento de água para aplicações de hemodiálise e terapias relacionadas (International Organization for Standardization, 2019)
Especificações para o *design*, operação e manutenção de unidades de tratamento de água, incluindo a distribuição, desionização e osmose inversa. O objetivo é a produção de água segura para diálise.
- **ISO 23500-3:2024** – Água para hemodiálise e terapias relacionadas (International Organization for Standardization, 2024b)
Especificações de qualidade para produtos químicos e bactérias na água de diálise para evitar que contaminantes prejudiquem os pacientes.
- **ISO 23500-4:2024** – Concentrados para hemodiálise e terapias relacionadas (International Organization for Standardization, 2024c)
Requisitos para a produção, armazenamento e identificação de concentrados para diálise, incluindo os requisitos para a preparação de concentrados nas instalações e o transporte a grande escala.
- **ISO 23500-5:2024** – Qualidade do fluido dialisante para hemodiálise e terapias relacionadas (International Organization for Standardization, 2024d)
Especificações de qualidade para o próprio fluido de diálise, utilizado na hemodiálise e na hemodiafiltração.

A norma **IEC 60601-2-16:2025** (International Electrotechnical Commission, 2025) representa os "Requisitos particulares para a segurança básica e desempenho essencial de equipamento de hemodiálise, hemodiafiltração e hemofiltração". De uma forma geral, pode ser definida por:

- Necessidades essenciais de segurança e desempenho para equipamentos de diálise, incluindo a proteção contra riscos elétricos, mecânicos e térmicos. Esta norma descreve os requisitos para sistemas de controlo adequados, funcionalidades de alarme e meios de proteção, e também abrange pontos como compatibilidade eletromagnética, acessibilidade para o utilizador e funcionamento em ambientes de cuidados de saúde domiciliares. Além disso, estabelece requisitos claros para os sistemas de administração de anticoagulantes e recomendações detalhadas para cenários perigosos e modos de falha, garantindo assim que os equipamentos de diálise cumprem os parâmetros de proteção, tanto para os pacientes como para os profissionais de saúde.

O Regulamento dos Dispositivos Médicos da União Europeia (UE) estabelece o quadro jurídico global para a introdução no mercado da UE de dispositivos médicos, reforçando os requisitos em termos de avaliação da conformidade, evidência clínica e vigilância pós-comercialização. Assim, temos as seguintes regulamentações:

- **Regulamentação (UE) 2017/745** (União Europeia, 2017)
Também denominado Regulamento dos Dispositivos Médicos (RDM), fornece uma base jurídica mais sólida para a aprovação, o controlo e a autorização de comercialização de dispositivos médicos, como equipamentos de diálise e tecnologias de tratamento de água. Além disso, estabelece requisitos mais rigorosos para a classificação de riscos, avaliação clínica, rastreabilidade e vigilância pós-comercialização, além de criar o Sistema de Identificação Única de Dispositivos (IUD) e a base de dados europeia sobre dispositivos médicos (EUDAMED, do inglês, “*European Database on Medical Devices*”).
- **Regulamentação (UE) 2023/607** (União Europeia, 2023)
Foi assinado para modificar o RDM. Esta legislação introduziu regras transitórias alargadas, permitindo que os dispositivos já certificados permanecessem no mercado por um período mais longo. A intenção era evitar a falta de *stock* de dispositivos médicos importantes enquanto os fabricantes e os organismos notificados se adaptavam às novas regras do RDM, mais rigorosas. De uma forma geral, introduziu novos prazos dependendo da classe de risco do dispositivo.

- **Regulamentação (UE) 2024/1860** (União Europeia, 2024)

Esta implementação aperfeiçoou ainda mais o RDM, particularmente no que diz respeito ao EUDAMED. Esta alteração permitiu uma aplicação gradual e incremental da base de dados e ajudou a facilitar a integração pelos países membros da UE.

2.3 Equipamentos e Sistemas Utilizados em Diálise

A hemodiálise depende de um conjunto coeso de sistemas tecnológicos destinados a garantir a segurança e a eficácia do tratamento. Entre os elementos mais importantes destacam-se os monitores de diálise, as unidades de tratamento de água, as cadeiras de tratamento e os sistemas centrais de concentrados. Todos estes componentes serão descritos ao longo das subsecções seguintes.

2.3.1 Monitores de Diálise

Os monitores de diálise são equipamentos concebidos para realizar e monitorizar os tratamentos de hemodiálise. Funcionam como dispositivos que integram a circulação sanguínea externa ao corpo do paciente, bem como a criação e regulação do dialisante. Através dos mecanismos referidos anteriormente, estes dispositivos proporcionam a eliminação de resíduos e excesso de fluidos, conseqüentemente auxiliando na manutenção da homeostasia.

Conforme ilustrado na Figura 6, o monitor é a unidade central que conecta o paciente à circulação sanguínea externa e aos sistemas hidráulicos, garantindo que o sistema de tratamento permaneça isolado e controlado em todos os momentos. Entre as suas diversas funções, estes equipamentos também incluem recursos de segurança, alarmes e uma interface que permite que profissionais de saúde possam alterar o tratamento de acordo com as necessidades específicas de cada paciente. O desenvolvimento dos monitores de diálise foi importante na transformação da diálise de um processo experimental para um método terapêutico confiável e acessível a pessoas em todo o mundo (Warady et al., 2021).

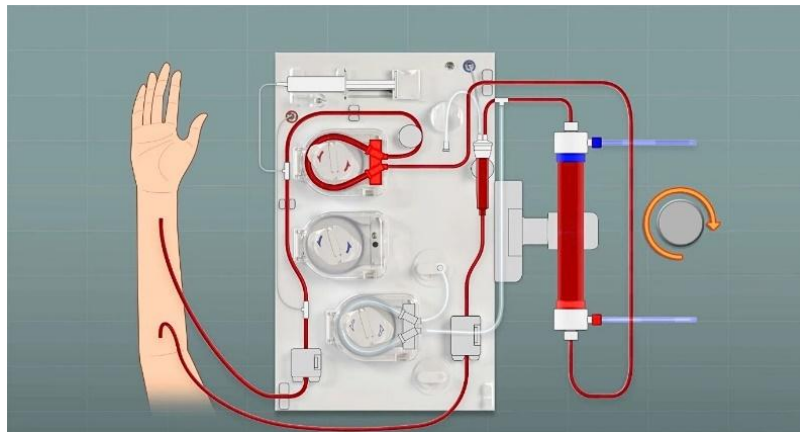


Figura 6 – Ligação entre paciente e monitor (SurdialX Training Series, n.d.).

Para além das funções técnicas, os monitores facilitam a tomada de decisões clínicas ao permitirem a modificação em tempo real do fluxo sanguíneo, das taxas de ultrafiltração e da composição do dialisante, proporcionando um *feedback* sobre a adequação do tratamento e a estabilidade do paciente. Os alarmes, pré-estabelecidos de fábrica para possíveis situações de risco de vida potencial, como embolia aérea, fuga de sangue ou alteração aguda da pressão, ajudam a minimizar ameaças, a reduzir a necessidade de vigilância humana e a garantir a segurança do paciente (NIKKISO, 2021b).

A funcionalidade principal do monitor de diálise reside na coordenação entre o circuito extracorporeal e hidráulico. O circuito extracorporeal inclui uma bomba de sangue para controlo circulatório, uma bomba de heparina para a anticoagulação e sensores de monitorização em tempo real para pressões arteriais e venosas. Tal como já foi mencionado, medidas de segurança adicionais incluem detetores de ar, detetores de fugas de sangue e *clamps* automáticos contra eventuais complicações. Simultaneamente, o circuito hidráulico aquece, desgaseifica e mistura água tratada com concentrados de ácido e bicarbonato para produzir o dialisante. Módulos incorporados nas bombas de ácido e bicarbonato, configurações de *bypass* e os ultrafiltros de retenção de endotoxinas protegem a precisão do tratamento e garantem o bem estar do paciente. Funcionalidades adicionais, como a monitorização do volume sanguíneo (BVM, do inglês, “*Blood Volume Monitoring*”), a monitorização da adequação em linha (Kt/V e URR), os perfis de ultrafiltração e a medição automática da pressão arterial, ampliam a eficácia do monitor (NIKKISO, 2021b).

Durante este trabalho são utilizados dois modelos de monitores de diálise: o *DBB-EXA* da *Nikkiso* e o *Surdial-X* da *Nipro*, representados pela Figura 7 (a) e (b), respectivamente. Ambos são amplamente utilizados a nível mundial na área da diálise e, tal como mencionado acima, as suas características incluem um circuito sanguíneo extracorporeal, um circuito hidráulico de dialisante e sistemas de segurança e monitorização incorporados.

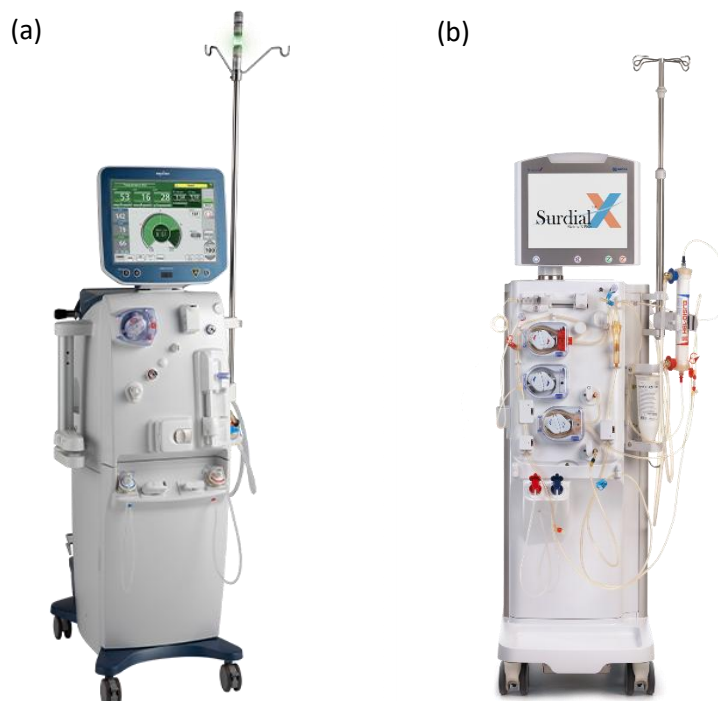


Figura 7- a) Monitor de diálise *Nikkiso DBB-EXA* (NIKKISO, n.d.); b) Monitor de diálise *Nipro SurdialX* (NIPRO, n.d.-c).

De uma forma geral, tanto o *Nikkiso DBB-EXA* como o *Nipro Surdial-X* oferecem as mesmas funcionalidades terapêuticas e possuem elementos básicos semelhantes. No entanto, as diferenças entre os dois monitores residem nas soluções de engenharia finais individuais e nas abordagens de *design* adotadas por ambas as empresas, nomeadamente na disposição da interface, na integração no fluxo de trabalho e na incorporação de módulos opcionais.

2.3.2 Unidades de Tratamento de Água

A qualidade da água para a hemodiálise é o principal determinante da segurança do paciente e da eficácia do tratamento. Embora a água da rede seja segura para consumo humano, está contaminada por substâncias químicas e microbiológicas e partículas que representam um perigo potencial caso sejam infundidas ou danifiquem as membranas do dialisador. Assim, os

Como referido anteriormente, a primeira etapa da UTA consiste num filtro multimédia (Figura 10), que é eficaz na retenção de sólidos em suspensão e partículas maiores presentes na água da rede. A utilização de elementos de filtração estratificados, geralmente uma sequência de vários níveis de areia ou outro material granular com diferentes tamanhos de partículas, permite que os estratos superiores capturem as partículas maiores, enquanto as partículas mais pequenas são progressivamente retidas nos estratos inferiores. Deste modo, é possível obter uma dupla função de filtração mecânica e de adsorção superficial. Atuando na redução da turbidez e da carga de partículas, o filtro protege os elementos posteriores contra possíveis incrustações (Bolasco, 2020).



Figura 10 – Filtro multimédia da clínica de Paredes.

A água é de seguida transferida para tanques de armazenamento de água bruta onde, para prevenir a estagnação e minimizar a ocorrência de crescimento bacteriano, uma bomba de recirculação externa garante a circulação contínua da água. Os tanques são equipados ainda com sondas de nível, que iniciam automaticamente o reabastecimento quando necessário. Paralelamente, existe um sistema de cloração, observado na Figura 11, composto por sondas que avaliam o nível de cloro residual e uma bomba doseadora que introduz cloro a partir de um tanque de água com uma concentração elevada do mesmo. A incorporação de cloro neste ponto é necessária pois inibe a ação microbiana nos tanques de água bruta que antecedem as seguintes etapas da purificação (Bolasco, 2020).



Figura 11 – Sistema de cloração da clínica de Marco de Canaveses.

Dos tanques, a água passa por dois filtros de carvão ativado, geralmente numa configuração em série (Figura 12). O *design* oferece redundância, garantindo que, caso o primeiro fique obstruído, o segundo impedirá que o cloro passe para as membranas de osmose. A natureza permeável do carvão ativado proporciona a retenção do cloro, pois possui uma grande área de contacto de adsorção, além de reações *redox* que transformam o cloro livre em cloretos inofensivos. Além disso, adsorve moléculas orgânicas à superfície do carvão, proporcionando proteção adicional (Bolasco, 2020).



Figura 12 – Filtros de carvão ativado da clínica de Paredes.

De seguida ocorre a descalcificação da água, que é obtida através da utilização de resinas para trocas iónicas, onde os iões de cálcio e magnésio são substituídos por sódio. A troca evita, mais uma vez, o desgaste das membranas das osmose inversas, que de outra forma, teriam as respetivas eficiências e vidas uteis mais reduzidas. Os descalcificadores, representados na Figura 13, são normalmente configurados em paralelo para garantir a continuidade do seu funcionamento, uma vez que uma unidade pode estar em modo de regeneração enquanto a outra permanece em serviço. A regeneração é realizada com recurso a tanques de salmoura cheios de cloreto de sódio. Nesse processo, uma solução salina concentrada lava as resinas, substituindo os iões de sódio e eliminando o conteúdo de cálcio e magnésio (Bolasco, 2020).



Figura 13 – Descalcificadores e tanques de salmoura da clínica de Marco de Canaveses.

Os microfiltros pré-osmose, Figura 14, são filtros com poros de tamanhos inferiores a $0,5 \mu\text{m}$ que têm como objetivo remover partículas finas e microrganismos remanescentes para reduzir também a carga nas membranas do sistema de osmose inversa (Bolasco, 2020).



Figura 14 – Sistema de microfiltros pré-osmose da clínica de Marco de Canaveses.

Na Figura 15 é possível observar a osmose inversa (RO), que constitui o processo principal de purificação da água nos centros de diálise, com a remoção de sais dissolvidos, matéria orgânica, microrganismos e endotoxinas. O sistema é configurado com duas unidades sequenciais de RO. A primeira fase remove eficazmente a maioria dos contaminantes iônicos, o que é confirmado por uma diminuição substancial da condutividade medida entre a entrada e a saída da osmose. A condutividade é monitorizada continuamente como uma indicação rápida da integridade das membranas e da qualidade da água. Seguidamente, a água tratada da primeira osmose é retida em tanques de armazenamento e transportada para uma segunda unidade de RO, que permite elevar a qualidade da água a um nível ultrapuro antes de ser introduzida no circuito de distribuição e nos monitores de diálise. As estratégias de desinfeção nos sistemas RO para suprimir o crescimento bacteriano e a formação de biofilmes diferem entre os dois tipos de sistemas aplicados na Diaverum. Os sistemas térmicos dependem da circulação de água a temperaturas elevadas em ciclos de duração controlada, ao passo que os sistemas químicos envolvem a aplicação de compostos como o hipoclorito de sódio como medida de prevenção (Bolasco, 2020; Snisar & Liksunova, 2018).



Figura 15 – Osmoses inversas 1 e 2 da clínica de Paredes.

Por fim, a água ultrapura circula através de um circuito fechado de distribuição que abastece as unidades de diálise. Esse circuito é geralmente composto por aço inoxidável ou polietileno reticulado (PEX), que reduz a adesão bacteriana e o desenvolvimento de biofilme. A

recirculação contínua a temperaturas e velocidades controladas evita a estagnação e garante a esterilidade microbiológica (Bolasco, 2020).

2.3.3 Cadeiras de Tratamento

As unidades de diálise incluem também cadeirões de tratamento, que, em termos ergonómicos, oferecem conforto aos pacientes e, em termos de segurança, permitem aos profissionais de saúde controlar o peso em tempo real durante as sessões de tratamento. A diferença de peso antes e depois do tratamento indica o volume de fluido removido. No final da hemodiálise, este valor é comparado com o peso seco prescrito ao paciente, ou seja, o peso corporal sem excesso de fluido. Este passo é importante para verificar a eficácia do tratamento e evitar complicações como hipotensão, câibras musculares ou sobrecarga de fluidos.

Os cadeirões *Actualway Serie II*, modelo usado nas clínicas Diaverum e ilustrado na Figura 16, são seguros, funcionais e ergonómicos. São compostos por material de alta durabilidade, proporcionando uma resistência acentuada às desinfecções realizadas após cada tratamento, e podem ser ajustados de diversas formas para se adaptarem ao conforto do paciente e aos requisitos clínicos. Abaixo encontram-se descritas com maior pormenor as características e funcionalidades destes cadeirões (Actualway, 2024):

- **Sistema de pesagem integrado:** medição do peso dos pacientes;
- **Ajustes motorizados:** 4 motores separados que permitem controlar o encosto, o apoio para as pernas, o apoio para os pés e a altura;
- **Ajustes manuais:** ajuste da inclinação e direção dos braços;
- **Estofos:** couro sintético impermeável, ignífugo e antimicrobiano;
- **Estofado:** espuma com 12 cm de espessura;
- **Capacidade de carga:** limite de carga até 200 kg;
- **Posição de Trendelenburg:** posição de suporte circulatório de emergência;
- **Mobilidade:** 4 rodas com travões;
- **Acessórios:** mesa lateral dobrável e almofada cervical ajustável.



Figura 16 – Cadeira de tratamento *Actualway Serie II*.

2.3.4 Central de Concentrados

Como referido anteriormente, durante o procedimento de hemodiálise, o fluido dialisante é preparado através da mistura de água ultrapura com concentrado ácido e bicarbonato. Normalmente, o concentrado é fornecido às unidades de diálise em recipientes descartáveis. No entanto, atualmente, muitas clínicas utilizam sistemas centrais de distribuição que permitem o fornecimento direto de ácido aos monitores de diálise com recurso a um circuito fechado semelhante ao utilizado para a água ultrapura. Conforme apresentado na Figura 17, o sistema central conecta os tanques de armazenamento de concentrado de ácido aos monitores por um circuito de distribuição (Murcutt et al., 2024).

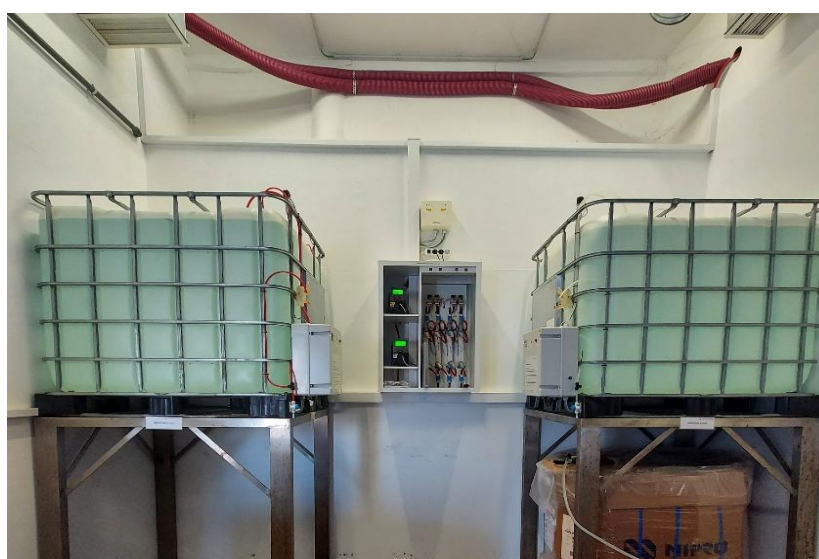


Figura 17 – Central de concentrados da clínica de Marco de Canaveses.

Uma das principais vantagens dos sistemas centrais de distribuição é a maximização do uso de fluidos. Enquanto o fornecimento a partir de recipientes deixa, na grande maioria das vezes, resíduos de concentrado para serem descartados, a distribuição através de circuito garante que apenas a quantidade exata de ácido necessária para cada tratamento seja fornecida, minimizando assim o desperdício. Outras vantagens associadas assentam na redução do trabalho físico dos profissionais e um conseqüente aumento do tempo dedicado ao cuidado dos pacientes e uma menor produção de resíduos plásticos (Murcutt et al., 2024).

As clínicas Diaverum utilizam predominantemente dois tipos de concentrados ácidos, o Nipro 323-A e 324-A, que se caracterizam por composições iônicas distintas que, subsequentemente, afetam as proporções de diluição utilizadas na preparação do fluido dialisante nos monitores de diálise. A principal diferença entre os dois reside no teor de cálcio livre, que vai determinar as concentrações finais de cálcio ionizado no dialisante. Por este motivo, a seleção do concentrado depende dos parâmetros clínicos do paciente, sendo importante para manter o equilíbrio iônico e a estabilidade cardíaca. Estas soluções são armazenadas em tanques com capacidade de 600 litros, com cada tipo de concentrado a ter dois tanques e duas bombas especializadas, facilitando assim a redundância operacional. Este esquema garante um fornecimento ininterrupto da solução, mesmo em casos de manutenção ou falha de um tanque ou bomba.

2.4 Manutenção de equipamentos

A manutenção de equipamentos é fundamental na área da saúde e consiste em tudo o que é necessário para reparar e manter os equipamentos num estado que permita o desempenho das suas funções. A avaria de equipamentos médicos pode comprometer diretamente a segurança dos pacientes, a precisão de diagnósticos e resultados terapêuticos (Manchadi et al., 2023).

De uma forma mais rigorosa, a manutenção é definida na EN 13306:2018 (Comité Europeu de Normalização, 2017) como a “Combinação de ações técnicas, administrativas e de gestão que são aplicadas durante o ciclo de vida de um equipamento, de modo a conservá-lo, ou até restaurá-lo a um estado em que possa desempenhar a função requerida.”

Este conceito pode ainda ser dividido em duas categorias principais (Magalhães, 2012):

- **Manutenção Corretiva (MC)**, que se baseia em manter o equipamento em condições de funcionamento contínuo, atuando apenas quando há um mau funcionamento ou uma perda de desempenho que causa uma interrupção nos processos habituais de utilização. Com esta abordagem, a intervenção é feita exclusivamente em caso de falha de componentes, momento em que são feitas reparações com o objetivo de restabelecer a capacidade de funcionamento;
- **Manutenção Preventiva (MP)**, que é aplicada com o objetivo de diminuir a probabilidade de avarias no equipamento e conseqüentemente diminuir a deterioração do mesmo. A planificação periódica permite aumentar a fiabilidade do equipamento, ao garantir que determinados componentes sejam verificados ou substituídos antes de atingirem o fim da vida útil.

2.4.1 Manutenção Preventiva de Monitores de Diálise

A manutenção preventiva dos monitores de diálise é um processo realizado anualmente e que segue planos definidos, abrangendo inspeções visuais, testes funcionais e substituição de peças. Apesar das filosofias estruturais distintas, o funcionamento das manutenções dos monitores *Nipro* e *Nikkiso* são em tudo semelhantes, permitindo uma uniformização dos passos a seguir. Além disso, ambos os fabricantes fornecem *kits* de substituição de peças, geralmente aplicados a cada dois anos, com o objetivo de garantir o bom estado de certos componentes com desgaste mais rápido.

O processo é iniciado com inspeções visuais, incluindo a verificação da existência e legibilidade de todas as marcações e etiquetas de segurança, a avaliação da integridade mecânica do dispositivo para condições operacionais seguras e a disponibilidade da documentação essencial. Também é realizada uma análise da segurança elétrica, com especial atenção à integridade dos cabos de alimentação, dos terminais de terra e das ligações com elementos de aquecimento. Esta fase também inclui a verificação da existência de fugas ou bloqueios nos tubos e filtros hidráulicos. A Figura 18 apresenta a vista posterior do monitor *Nipro*, evidenciando a complexidade do sistema de tubagem intrínseco nos monitores de diálise.



Figura 18 – Vista posterior do monitor de diálise Nipro SurdialX (NIPRO, n.d.-b).

Posteriormente, durante o arranque do monitor, é feita a verificação do funcionamento dos alarmes visuais e acústicos, botões, LEDs e ecrã tátil. De seguida, durante uma desinfeção do mesmo, são verificadas as ligações das tubagens, a câmara de desgaseificação, as bombas do ácido e do concentrado e a bomba de ultrafiltração, que devem estar a funcionar corretamente. Na eventualidade de serem detetados ruídos, vibrações ou fugas nesta fase, devem ser aplicadas medidas corretivas.

Outras ações preventivas envolvem a regulação do fluxo do fluido dialisante e a calibração e verificação de dispositivos de monitorização como os sensores para pressão venosa e arterial, o detetor de fuga de sangue e o detetor de bolhas. Também é testado o correto funcionamento dos *clamps* arteriais e venosos quanto à capacidade de impedimento de passagem de fluxo, enquanto as bombas de sangue são avaliadas quanto à precisão das configurações de compressão e eficácia dos rolamentos. Existe um foco particular no teste da condutividade total, uma vez que a mesma necessita de estar dentro de tolerâncias muito específicas para garantir a preparação com precisão do fluido dialisante. Desta forma, existe muitas vezes a necessidade de calibração das células de condutividade e das respetivas rampas com os diferentes concentrados.

Por último, existem sistemas de segurança e *backup* que são testados para garantir que o monitor funcione adequadamente em condições adversas. Portanto, é fundamental testar a funcionalidade da bateria interna de modo a garantir que o dispositivo esteja totalmente

operacional no caso de uma falha de energia, o que inclui a indução de falhas simuladas para verificar a capacidade de resposta dos sistemas de alarme. Além disso, a realização de um teste de segurança elétrica em conformidade com normas internacionais, como a IEC 62353, garante que as correntes de fuga e as resistências à terra permaneçam abaixo dos níveis de segurança estipulados. Uma vez realizadas todas as verificações, testes e calibrações, o monitor de diálise é considerado seguro para o uso em tratamento.

Na Figura 19 encontra-se descrito todo o processo da manutenção dos monitores de diálise, em formato de fluxograma, para resumir todos os procedimentos descritos acima.

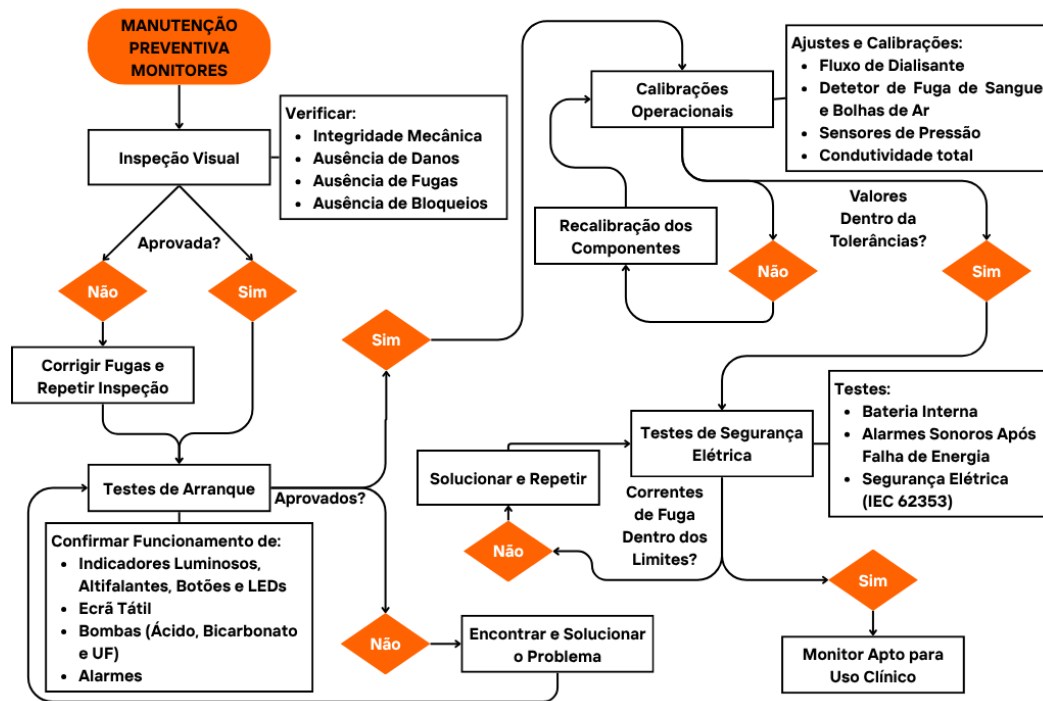


Figura 19 – Fluxograma do processo de manutenção dos monitores de diálise.

2.4.2 Manutenção de Unidades de Tratamento de Água

Devido à sua complexidade e ao seu papel significativo na segurança dos pacientes, as unidades de tratamento de água necessitam de diversas abordagens de manutenção preventiva e monitorização. Assim, as visitas semanais, a execução de planos de desinfecção e os procedimentos de manutenção preventiva são importantes para garantir a fiabilidade, prolongar o tempo de funcionamento do equipamento e fornecer água tratada com a qualidade requerida para a prática da diálise.

2.4.2.1 Visitas Semanais

As UTAs de todas as clínicas são visitadas semanalmente e, durante estas visitas, é verificado o estado físico geral dos segmentos, é avaliada a pressão das diferentes etapas do tratamento e são documentadas as variáveis de qualidade da água (dureza, cloro, pH e condutividade). Estes testes permitem detetar atempadamente qualquer desgaste ou mau funcionamento, garantindo que os problemas são resolvidos antes que o fornecimento de água seja comprometido.

2.4.2.2 Desinfecções

A desinfecção das UTAs é uma ação preventiva que visa limitar o desenvolvimento microbiano e evitar a produção de biofilme nos circuitos hidráulicos. Apesar da constante produção de água ultrapura, bactérias e microrganismos podem colonizar tanques, membranas e circuitos de distribuição, representando um risco para a segurança do paciente. Portanto, são elaborados planos de desinfecção com intervalos de tempo predeterminados, utilizando procedimentos químicos ou térmicos de acordo com a configuração do sistema em questão.

A desinfecção química é realizada mensalmente através da utilização de agentes oxidantes, como o hipoclorito de sódio, que são introduzidos nos tanques de água tratada ou das osmose e são posteriormente bombeados através das membranas das osmose inversas, do circuito de distribuição e dos monitores de hemodiálise. Estes reagentes previnem a proliferação de microrganismos e endotoxinas de forma eficaz, mas requerem um enxaguamento intensivo após a aplicação, para que nenhum resíduo do desinfetante entre em contacto com os pacientes.

A desinfecção térmica consiste na circulação de água quente ininterruptamente pelas membranas da osmose, circuito de distribuição e monitores durante um tempo pré-definido e

a temperaturas pré-definidas (80 a 100 °C). Este tipo de desinfecção apenas pode ser realizado em modelos de osmose inversa mais recentes e, nas clínicas com acesso a este sistema, o procedimento é efetuado semanalmente de uma forma automatizada, sem necessidade de intervenção humana. Neste procedimento, as altas temperaturas são extremamente eficazes na restrição do desenvolvimento e crescimento de microrganismos, pelo que não há necessidade de aplicação de reagentes químicos.

2.4.2.3 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva da UTA consiste num procedimento sistemático, realizado anualmente, que inclui a observação, a limpeza e avaliação operacional de todos os componentes essenciais, garantindo assim, a sua confiabilidade, minimizando a probabilidade de possíveis tempos de inatividade e aumentando a sua vida útil.

Os tanques de armazenamento de água bruta e tratada são verificados quanto à integridade estrutural, limpeza e ausência de fugas. Os sensores de nível, válvulas e alarmes são testados para verificar o seu correto funcionamento, enquanto as paredes internas e o fundo do tanque são observados para verificar a existência de sedimentos ou detritos que exijam limpeza. Do lado de fora, os tanques são limpos, de forma a manter as condições de higiene.

Para os sistemas de doseamento de cloro e recirculação, inicialmente é verificada a bomba de recirculação quanto a fugas, ruídos estranhos, vibrações e segurança das ligações elétricas. A bomba e o reservatório de cloro são limpos e, adicionalmente, as válvulas e configurações do painel de controlo são verificadas, sendo realizada uma verificação da sua capacidade de doseamento para avaliar se há uma injeção adequada de cloro. Simultaneamente, a leitura da sonda de cloro é avaliada através da comparação com um teste de concentração de cloro na água.

A manutenção preventiva das bombas da central de pressurização envolve verificações mecânicas e elétricas. Isso inclui a análise do consumo das diferentes fases da bomba, do alinhamento e vibrações e do desgaste das vedações mecânicas, do impulsor e dos rolamentos. O painel de controlo das bombas é também inspecionado quanto a vestígios de ferrugem e desgaste dos cabos e é avaliada a redundância entre as bombas, ou seja, é testado o seu funcionamento alternado.

Nos descalcificadores são realizadas limpezas e inspeções visuais dos tanques de salmoura, válvulas de aspiração e dos filtros de partículas, e além disso, a dureza da água na saída de cada descalcificador é conferida para confirmar a remoção dos iões de cálcio e magnésio. Nos filtros de carvão ocorre também a lavagem exterior e verificação dos filtros de partículas e os níveis de cloro são verificados antes e depois da filtragem em cada filtro. Um nível de cloro residual acima de 0,06 ppm (partes por milhão) indica que é necessária a substituição do carvão ativado. No final são efetuadas leituras de pressão na entrada e na saída, em cada um dos elementos, que servem para indicar qualquer entupimento e consequente necessidade de substituição de cargas.

A manutenção da osmose inversa envolve a medição do desempenho da bomba, o registo das pressões operacionais, a verificação da integridade das membranas e a confirmação do funcionamento correto das válvulas solenoides, das válvulas motorizadas e dos sensores. As ligações elétricas e hidráulicas também são verificadas e é efetuado um ajuste nos fluxos de rejeição e recirculação quando os mesmos não se encontram compreendidos entre os intervalos estipulados para o correto funcionamento da osmose.

O fluxograma ilustrado na Figura 20, resume o processo de manutenção das unidades de tratamento de água.

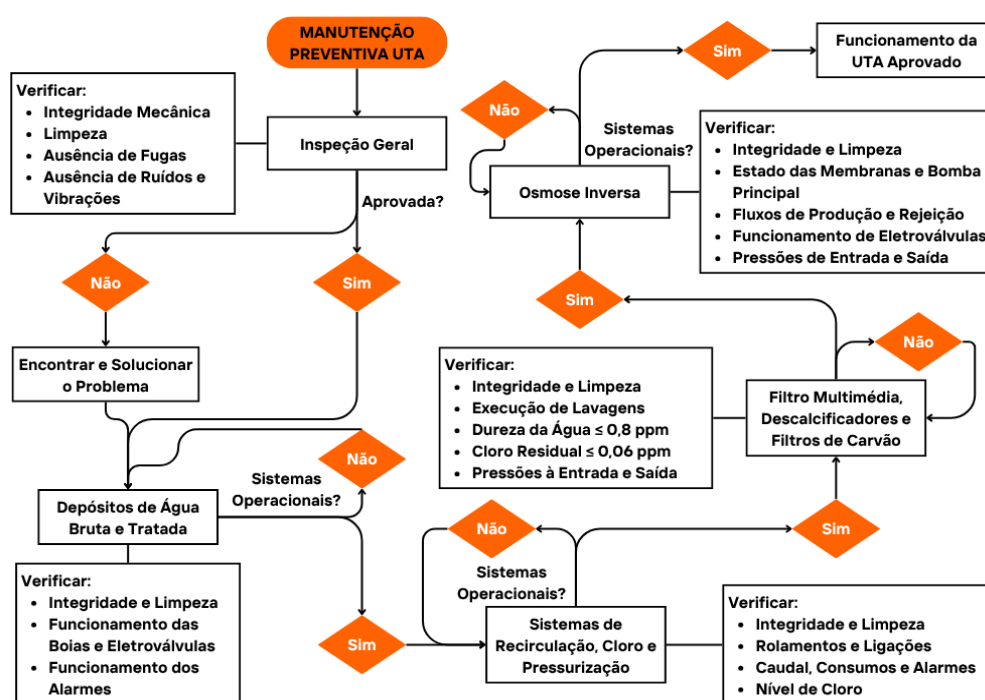


Figura 20 – Fluxograma do processo de manutenção das unidades de tratamento de água.

3 Sustentabilidade e Otimização de Recursos

Como referido anteriormente, o impacto ambiental substancial do tratamento de diálise tem sido realçado pelas crescentes consequências das doenças renais crónicas. As quantidades significativas de resíduos, bem como os elevados consumos de energia e água, levam as clínicas de diálise a enfrentar uma pressão crescente para implementarem procedimentos mais ecológicos e eficazes. Desta forma, abordar o impacto ambiental dos tratamentos de substituição renal é uma questão crítica de saúde pública, para além de uma questão de eficiência operacional.

Assim sendo, o presente capítulo analisa aspetos importantes da sustentabilidade ambiental na diálise, com especial atenção para o consumo de energia e água. São analisados os procedimentos atuais, comparadas as técnicas de otimização e identificadas estratégias destinadas a reduzir o impacto ambiental sem comprometer os resultados clínicos. A presente revisão de literatura teve como principal objetivo orientar e auxiliar a criação de modelos de cuidados renais mais ecológicos e responsáveis, fornecendo uma análise baseada em evidências das pesquisas atuais e das experiências de implementação.

3.1 Consumo de Água e Energia na Diálise

A prestação de serviços de diálise implica um consumo de água e energia por tratamento que tende a superar o consumo diário doméstico dos lares. A previsão dos volumes e exigências deste tratamento permite planear intervenções adequadas. Ao longo deste subcapítulo são

apresentados alguns estudos com indicadores e análises sobre o consumo de recursos em diferentes métodos de diálise e instalações, bem como as respectivas implicações ambientais.

Wieliczko et al. (2020) destacam o elevado impacto ambiental da hemodiálise, que caracterizam como um dos tratamentos médicos com maior consumo de recursos na medicina moderna. Em média, são consumidos cerca de 500 L de água, mais de 7 kWh de energia e quase 1 kg de resíduos biológicos numa única sessão de diálise. Globalmente, mais de 600 milhões de tratamentos são realizados anualmente. Consequentemente, os autores apresentam algumas medidas que podem ser importantes na redução do impacto ambiental e mais especificamente na redução do desperdício de água. Entre as soluções propostas, é possível evidenciar a diminuição da taxa de fluxo do dialisante durante o tratamento e a redução do fluxo durante as fases de preenchimento e enxaguamento das linhas. (*Wieliczko et al., 2020*).

Na análise efetuada por *Zoccali et al. (2023)* à elevada necessidade de água e energia nas clínicas de hemodiálise foi averiguado que, no Reino Unido, um paciente de hemodiálise tratado três vezes por semana consome cerca de 93600 L de água e 3058 kWh de eletricidade por ano, com uma pegada de carbono adicional de 3900 kg de CO₂. São mencionadas ainda abordagens para minimizar as consequências deste tratamento, como a utilização de energias renováveis e a reutilização de água rejeitada pelas osmose inversas (*Zoccali et al., 2023*).

Em Espanha, *Jiménez et al. (2025)* compararam 919059 sessões de hemodiálise (HD) ao longo de cinco anos em 20 unidades e identificaram características operacionais com influência significativa nos consumos. As maiores unidades e que funcionavam seis vezes por semana apresentaram menores consumos por tratamento — com uma estimativa de 378 litros de água e 10,7 kWh de energia — do que as unidades de dimensão inferior ou que funcionavam apenas três vezes por semana, com 543 litros e 14,8 kWh, por tratamento. As instalações de tratamento de água foram igualmente relevantes, com a instalação de menor consumo a atingir 399 litros de água e 9,8 kWh por tratamento e a de maior consumo a atingir 683 litros e 13,8 kWh por tratamento. A variação sazonal também foi identificada, com consumos de energia de 15,4 kWh no inverno e 10,8 kWh no verão por sessão de diálise (*Jiménez et al., 2025*).

No que diz respeito ao tema em análise, *Canaud et al. (2024)* realizaram uma simulação e uma comparação em contexto real do impacto ambiental da hemodiafiltração (HDF) de alto fluxo em comparação com a hemodiálise (HD) de alto fluxo. Os resultados indicam que a HDF pós-diluição, otimizada com base em determinados parâmetros das máquinas de diálise, pode

proporcionar uma melhor remoção de moléculas pequenas e médias, com um consumo de fluido de diálise inferior ao da HD convencional. O artigo demonstra que a redução do fluxo do dialisante para 430 mL/min em configurações de HDF pode preservar ou até mesmo aumentar a eficiência do tratamento e conservar até 3900 L de água por paciente por ano (Canaud et al., 2024).

A literatura constata que os processos de diálise têm um impacto considerável no ambiente, principalmente por serem processos que consomem muita energia e água. No entanto, com base nas conclusões retiradas, existem diversas soluções aplicadas que facilitam uma prática mais ecológica da diálise. No subcapítulo seguinte, estas medidas serão abordadas de uma forma mais centralizada.

3.2 Estratégias para Reduzir o Impacto Ambiental

Os elevados requisitos de água e energia referidos no capítulo anterior destacam a necessidade de medidas de mitigação eficazes nos cuidados de diálise. Como as evidências indicam, o uso intensivo de recursos não é uma consequência inevitável da hemodiálise, mas sim um problema que pode ser resolvido através da inovação tecnológica e da otimização operacional.

De modo a identificar medidas eficientes para minimizar a influência do ambiente na diálise, *Bendine et al.* (2020) realizaram uma pesquisa ao longo de 13 anos que possibilitou a diminuição do consumo de água por tratamento de 801 para 382 L, representando uma redução de 52 %, e uma redução do consumo de eletricidade de 23,1 kWh para 16,3 kWh por tratamento, representando uma redução de 29,6 %. As reduções alcançadas foram consequência de várias medidas que foram sistematicamente executadas, compreendendo (Bendine et al., 2020):

- Substituição progressiva de monitores de diálise por equipamentos mais recentes, com controlo automático do fluxo de dialisante;
- Atualização de instalações da osmose inversa (RO) com protocolos de desinfecção térmica;
- Diminuição dos fluxos na preparação do tratamento;
- Melhoria dos planos de manutenção preventiva para maximizar a eficiência dos equipamentos;
- Formação dos profissionais para métodos e práticas mais ecológicas e sustentáveis.

Abarkan et al. (2022) descreveram como a aplicação de sistemas de eletrodialise (processo de separação, no qual compostos ionizáveis são transportados através de uma membrana de uma solução para outra pela aplicação de um potencial elétrico direto (K. et al., 2014)) à rejeição da osmose inversa - cerca de 250 L por sessão - permite que até 95 % destes sejam recuperados e disponibilizados para usos não clínicos. Além disso, os autores analisaram a possibilidade da reutilização do dialisante pelo mesmo sistema de filtração por eletrodialise e, portanto, o seu potencial para ser usado em aplicações não potáveis. Numa investigação complementar, *Tarrass et al. (2024)* apresentam a reutilização de águas rejeitadas para fins como jardinagem, aquaponia, refrigeração ou usos sanitários, juntamente com medidas para recuperar o calor das águas residuais e, assim, potencialmente proporcionar uma poupança de energia na ordem de cerca de 1600 GWh por ano. Ao promover a otimização e reutilização de recursos, estes procedimentos destacam o potencial para melhorar a eficácia e implementar procedimentos ecológicos na hemodialise (*Abarkan et al., 2021; Tarrass et al., 2024*).

Tanto o estudo de *Solomon et al. (2024)* como a análise de *Rydzewska-Rosołowska et al. (2024)* mostraram resultados semelhantes quanto à possibilidade de diminuir o fluxo de dialisante de 500 mL/min para 300 mL/min para economizar água. Ambos os estudos não comprometeram a adequação da diálise, mantendo o Kt/V e a URR estáveis em comparação com uma prescrição padrão. *Solomon et al. (2024)* demonstraram que a associação simultânea entre o fluido de dialisante a uma temperatura mais elevada (38,5 °C) com o baixo fluxo do mesmo garante uma eficácia de clearance equivalente, simultaneamente proporcionando uma possível economia de aproximadamente 40 % no consumo de água por sessão. Em adição, *Rydzewska-Rosołowska et al. (2024)* também validaram que a diminuição da taxa de fluxo garante uma poupança de, pelo menos, 48 L/sessão, sem variações substanciais na adequação da diálise e observando apenas um aumento no nível de potássio pré-diálise (*Rydzewska-Rosołowska et al., 2024; Solomon et al., 2024*).

Piccoli et al. (2020) sugerem um conjunto abrangente de recomendações sobre como alcançar a sustentabilidade ambiental na prática da diálise. Entre as abordagens mais relevantes, destacam-se (*Piccoli et al., 2020*):

- Minimizar o uso de plástico descartável;
- Otimizar a temperatura e a taxa de fluxo do dialisante para minimizar o uso de água e energia;
- Separação organizada de resíduos para minimizar as quantidades de resíduos nocivos;

- Reutilização da água rejeitada pela osmose inversa em aplicações não clínicas;
- Sistemas de energia renovável, como os painéis fotovoltaicos;
- Adoção de rotinas operacionais, como ligar os monitores de diálise apenas quando necessário.

Como parte do seu estudo, *Martins et al.* (2023) avaliaram a sustentabilidade ambiental associada à implementação do programa de hemodiálise incremental (HDI) num centro de diálise em Portugal. Uma análise retrospectiva confirmou que 15 % dos pacientes que realizaram hemodiálise no ano de 2019 seriam elegíveis para HDI. A introdução do programa teria, assim, reduzido a produção de 4186 kg de resíduos por ano (dos quais 1549 kg de plástico) e poupado um volume equivalente a 418600 litros de água e emissões equivalentes de CO₂ entre 36 e 85 toneladas por ano. Além das vantagens ambientais, a HDI oferece vantagens clínicas ao variar o intervalo da terapia com base na função renal residual e potencialmente preservando o acesso vascular e a qualidade de vida dos pacientes (Martins et al., 2023).

3.3 Análise Comparativa de Métodos de Otimização

Diversas estratégias foram propostas para melhorar o desempenho ambiental da diálise, variando de inovações tecnológicas a ajustes operacionais. Contudo, a eficiência relativa, implicações clínicas e a viabilidade prática variam consideravelmente e, por isso, neste subcapítulo serão comparadas as principais abordagens identificadas na literatura, avaliando vantagens e limitações para orientar a seleção de práticas sustentáveis.

Pequenos ajustes, como a redução do fluxo de dialisante, podem ser implementados de imediato, sem custos, e permitem poupar água. Medidas mais simples tendem a gerar reduções proporcionalmente menores, quando comparadas com intervenções de maior escala, além de levantarem preocupações quanto ao impacto clínico. Contudo, o ajuste dos parâmetros do tratamento, como acontece na hemodiafiltração (HDF), pode potencialmente melhorar a remoção de solutos e, ao mesmo tempo, minimizar o consumo de água. A adoção destas estratégias depende, contudo, da disponibilidade de equipamentos adequados, da formação do pessoal técnico e da adesão aos protocolos operacionais.

Intervenções em infraestrutura, como a modernização das unidades de tratamento de água ou a implementação de tecnologias de recuperação de água rejeitada pela osmose, exigem elevados custos iniciais e um planeamento complexo. No entanto, oferecem ganhos estáveis e

garantidos nos consumos energéticos e hídricos a longo prazo. A reutilização da água rejeitada representa uma solução eficaz dentro de uma estratégia de economia circular, permitindo reduzir substancialmente o volume de água desperdiçada nos processos de diálise. Todas estas intervenções exigem, contudo, infraestruturas adicionais, acomodações e controlos de qualidade de forma regular.

Melhorias organizacionais e estruturais nas clínicas de diálise podem proporcionar ganhos significativos em termos de eficiência. O planeamento integrado dos tratamentos, a otimização dos dias de funcionamento e o agrupamento de indicadores de desempenho ajudam a minimizar o consumo de recursos e a obter mais controlo sobre as operações. Estas intervenções são particularmente benéficas nas cadeias de clínicas, mas requerem um compromisso institucional e uma gestão simultânea. Intervenções mais complexas, como a hemodiálise incremental, reduzem o número de tratamentos para pacientes elegíveis, diminuindo o consumo de água e energia e favorecendo a manutenção da função renal residual. Contudo, a implementação generalizada da diálise incremental é limitada pela necessidade de monitorização clínica rigorosa e critérios de elegibilidade restritos.

Ao comparar todas estas medidas, é possível concluir que certas medidas isoladas não são significativamente mais eficazes. As medidas rápidas e baratas proporcionam benefícios a curto prazo; no entanto, quando utilizadas isoladamente, não proporcionam benefícios substanciais. As medidas tecnológicas e de infraestruturas são mais abrangentes e proporcionam uma maior redução de consumos a longo prazo, embora estejam associadas a elevados custos e planeamento. A reformulação da organização e a aplicação do modelo seletivo têm vantagens ao nível do sistema, mas dependem dos pacientes e das condições operacionais. O percurso para uma diálise sustentável passa, portanto, pela utilização de medidas rápidas e fáceis de implementar, combinadas com um investimento deliberado em novas tecnologias e na reformulação operacional.

Com o objetivo de resumir as informações recolhidas, a Tabela 1 apresenta uma lista dos principais métodos de otimização encontrados na literatura, os respetivos consumos de energia e água, e as vantagens e desvantagens dos mesmos.

Tabela 1- Métodos de otimização na hemodiálise e respetivos consumos, vantagens e desvantagens.

Referências	Intervenção/ Método	Consumo Água	Consumo Energia	Vantagens	Desvantagens
(Rydzevska-Rosolowska et al., 2024)	Redução do fluxo de dialisante (500 → 300 mL/min)	Poupança de ≈48 L/sessão	-	Implementação imediata; sem investimento; mantém URR e Kt/V a curto prazo	Ligeiro aumento de potássio pré-diálise; efeitos a longo prazo desconhecidos
(Abarkan et al., 2021)	Eletrodiálise da rejeição da osmose inversa (RO)	Poupança de ≈250 L/sessão com reutilização da água (até 95 % de recuperação)	-	Alta taxa de recuperação; sem efeito no tratamento	Tecnologia emergente; investimento inicial elevado; requer manutenção e controlo
(Tarrass et al., 2024)	Recuperação de calor das rejeições da diálise	-	1600 GWh/ano (energia global recuperável)	Reduz necessidades térmicas; ganho energético estável	Investimento inicial e manutenção
(Canaud, Gagel, et al., 2024)	HDF pós-diluição (alto volume)	Poupança de ≈3900 L/ano/paciente	Semelhante à HD; ligeira redução com automação	Melhor remoção de moléculas pequenas e médias; Possíveis benefícios clínicos	Requer equipamento compatível e formação específica
(Martins et al., 2023)	HD incremental (HDi)	Poupança de ≈418600 L/ano	Redução proporcional ao nº de sessões	Poupança hídrica; centrado no doente; preserva função renal residual	Aplicável apenas a doentes elegíveis; requer vigilância clínica rigorosa
(Jiménez et al., 2025)	Otimizações organizacionais e operacionais	543 → 378 L/sessão (centros pequenos vs. grandes)	14,8 → 10,7 kWh/sessão (centros pequenos vs. grandes)	Melhorias sistémicas; escalável a várias unidades; sem impacto negativo na eficácia	Requer planeamento e compromisso institucional
(Bendine et al., 2020)	Programa multi-intervenções (modernização de monitor/RO, fluxos, manutenção, formação)	801 → 382 L/tratamento (52 %)	23,1 → 16,3 kWh/tratamento (29,6 %)	Ganhos consistentes e sustentados; melhorias conjuntas de água e energia	Necessita investimento inicial e gestão contínua

4 Componentes e Métodos de Análise

A metodologia utilizada para a presente dissertação consistiu em avaliar o desempenho ambiental das clínicas de diálise antes e após a implementação de técnicas de sustentabilidade específicas. Para o efeito, foi utilizado um método abrangente, que envolveu comparação de dados, a normalização da utilização de recursos e a avaliação comparativa entre diferentes centros. Esta abordagem garante que os resultados não sejam afetados por diferenças no tamanho das clínicas ou no horário de funcionamento, criando assim uma base de referência credível a partir da qual os resultados podem ser extrapolados para outras clínicas.

4.1 Local de Estudo

Este estudo foi realizado nas clínicas de diálise da Diaverum Portugal, com foco em cinco instalações: Linda-a-Velha, Aveiro, Vila do Conde, Paredes e Entrecampos. Estas unidades foram escolhidas por terem implementado soluções orientadas para a sustentabilidade em diferentes períodos, permitindo a realização de comparações antes e depois da implementação das medidas, bem como a realização de estudos de correlação entre clínicas. Além disso, as cinco clínicas piloto foram selecionadas por apresentarem registos de consumos mais completos e fiáveis, fator determinante para garantir consistência temporal e comparabilidade dos resultados. As instalações, enquanto grupo, apresentam uma amostra heterogénea em termos de dimensão, nível de intervenção tecnológica e intensidade de operação, o que é essencial para abranger um conjunto amplo de resultados de desempenho. No que diz respeito às clínicas na região Norte, apenas Amarante e Marco de Canaveses apresentam medidas já implementadas — sistema de osmose inversa com desinfeção térmica — não tendo sido

incluídas como clínicas piloto por não existirem registos de consumos associados a estas clínicas suficientemente rigorosos e completos para este estudo em específico.

O conjunto das restantes clínicas da região Norte será utilizado para a respetiva extrapolação. Com base nos resultados das cinco clínicas inicialmente selecionadas, como casos de estudo exemplificativos, a análise fará previsões transponíveis para clínicas de diferentes dimensões e níveis de atividade.

4.2 Intervenções e Datas de Implementação

O estudo centra-se em quatro intervenções principais, de natureza tecnológica e operacional, destinadas a melhorar a eficiência hídrica e energética nos serviços de diálise, sendo estas:

- **Sistema *Testomat*** (Figura 21): Sistemas automatizados que estão coletivamente ligados aos descalcificadores e são responsáveis pela monitorização contínua da dureza residual na água após o pré-tratamento. Geralmente, os testes de dureza são feitos manualmente aquando das visitas semanais, um processo que pode levar a ciclos de regeneração desnecessários e, portanto, a um aumento na quantidade de água e sal utilizada ou a uma identificação tardia da passagem de dureza. Ao proporcionar um controlo automatizado e em tempo real do funcionamento do descalcificador, o sistema *Testomat* garante que a regeneração apenas é acionada quando a dureza excede um valor pré-definido. Esta melhoria maximiza a utilização da água e do sal, reduz a descarga de produtos químicos e melhora a consistência e a segurança do processo de tratamento da água.



Figura 21 – Sistema *Testomat*.

- **Painéis Fotovoltaicos:** Com a integração de painéis fotovoltaicos, é possível a produção de energia para ser utilizada nas clínicas, tal como pode ser visualizado na Figura 22, alimentando monitores de diálise, as unidades de tratamento de água e a infraestrutura de uma forma geral. A aplicação desta medida reduz a dependência do fornecimento da rede pública e contribui para a redução do impacto indireto do carbono relacionado com a atividade clínica. Embora a produção real de energia dependa da disponibilidade de luz solar e do local de instalação, esta solução proporciona reduções elevadas no consumo de energia espectáveis a longo prazo.



Figura 22 – Controlador dos painéis fotovoltaicos com mostrador da produção.

- **Sistema de Osmoses Inversas com Desinfecção Térmica (Figura 23):** Neste procedimento, o controlo microbiológico da unidade de tratamento de água é alcançado através de ciclos de lavagem com água a temperaturas elevadas, em oposição ao uso de reagentes químicos para o mesmo efeito. O benefício mais significativo está associado à redução da necessidade de realização de descargas de grandes volumes de água. A não utilização de desinfetantes químicos, além de permitir uma diminuição acentuada dos resíduos gerados, não implica uma lavagem tão pormenorizada como aquela necessária para remover qualquer tipo de resíduo químico na água. Assim, em comparação com os processos normais de desinfecção química

utilizados, a desinfecção térmica representa uma alternativa mais sustentável ao mesmo tempo que garante, da mesma forma, a segurança das instalações e dos pacientes.



Figura 23 – Sistema de osmose inversas com desinfecção térmica da clínica de Marco de Canaveses.

- **Reaproveitamento de Água da Osmose:** As osmose inversas desperdiçam uma quantidade considerável de água para rejeição (geralmente 50-70 %). Os sistemas de reaproveitamento desviam essa água rejeitada para usos não clínicos, como as descargas de sanitas, sistemas de limpeza ou irrigação de espaços verdes. Embora não seja adequada para fins medicinais, a água rejeitada ainda contém qualidade de água potável antes do processo de RO e, portanto, é segura para usos sanitários. Esta intervenção resolve diretamente um dos maiores desperdícios de água na diálise, conservando água potável e diminuindo o impacto ambiental do procedimento de tratamento de água.

As intervenções previamente descritas foram implementadas nas cinco clínicas referidas, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2- Medidas aplicadas nas clínicas piloto e as respetivas datas de aplicação.

Medidas	Clínicas	Data
Sistema <i>Testomat</i>	Entrecampos	10/2024
Painéis Fotovoltaicos	Aveiro	01/2024
	Paredes	04/2024

	Vila do Conde	05/2024
Osmoses Térmicas	Aveiro	9/2023
	Vila do Conde	06/2019
Reaproveitamento de Água da Osmose	Linda-a-Velha	01/2025

A aplicação sistemática destas inovações nos locais piloto permite tanto uma avaliação a longo prazo como uma avaliação imediata. Desta forma, é possível consolidar a análise comparativa, combinando resultados que indicam um desempenho contínuo com indicadores que surgem imediatamente após a aplicação de medidas.

4.3 Origem e Recolha de dados

Para efetuar comparações entre clínicas de diferentes tamanhos e níveis de atividade, os consumos de eletricidade e água serão uniformizados através da aplicação de um conjunto de indicadores operacionais. As equações abaixo representam a arquitetura gradual que será aplicada:

1. Número máximo teórico de tratamentos por semana

A equação 1 expressa a atividade máxima que uma clínica poderia atingir por mês, se todos os postos estivessem ocupados em todos os turnos disponíveis.

$$Tratamentos_{Max} = Postos * Turnos_{Semana} * Semanas_{Mês} \quad (1)$$

Onde:

- **Tratamentos_{Max}** representa o número máximo de tratamentos que podem ocorrer por mês por clínica;
- **Postos** é o número de postos por cada clínica;
- **Turnos_{Semana}** é o número de turnos que são realizados numa semana;
- **Semanas_{Mês}** é o número de semanas por mês.

2. Índice de ocupação

A relação na equação 2 reflete o grau em que cada clínica trabalha em relação à sua capacidade total:

$$\text{Índice Ocupação} = \frac{\text{Tratamentos}_{Real}}{\text{Tratamentos}_{Max}} \quad (2)$$

Onde:

- **Índice Ocupação** é a taxa de ocupação mensal da clínica com base no número de tratamentos realizados por mês;
- **Tratamentos_{Real}** é o número real de tratamentos decorridos por mês por clínica.

3. Consumos de água e eletricidade por tratamento

Definiram-se os consumos de água e eletricidade como os indicadores-chave de desempenho (ICDs) e, com base nas equações 3 e 4, é possível correlacionar estes consumos com a atividade real efetiva das clínicas. Desta forma, é assegurado que as variações evidenciadas entre as clínicas são diretamente ligadas à eficiência das mesmas e não aos respetivos tamanhos ou atividades.

$$\text{Água}_{Tratamento} = \frac{\text{Consumo Água}_{Mês} * 1000}{\text{Tratamentos}_{Real}} \quad (3)$$

$$\text{Eletricidade}_{Tratamento} = \frac{\text{Consumo Eletricidade}_{Mês}}{\text{Tratamentos}_{Real}} \quad (4)$$

As variáveis podem ser definidas como:

- **Água_{Tratamento}** representa a água consumida por tratamento no período de um mês (L);
- **Eletricidade_{Tratamento}** representa a eletricidade consumida por tratamento num mês por tratamento (kWh);
- **Consumo Água_{Mês}** representa o consumo total de água por mês (m³);
- **Consumo Eletricidade_{Mês}** representa o consumo total de eletricidade por mês (kWh).

Os dados dos consumos de água e energia considerados para o estudo foram obtidos a partir dos registos arquivados pelas clínicas ao longo dos anos. Os valores representam a utilização global dos recursos de cada unidade, sendo influenciados pelas características operacionais

específicas das clínicas. Fatores como o número de pacientes alocados a cada clínica, o número de monitores de diálise disponíveis e a distribuição semanal dos turnos do tratamento afetam diretamente a necessidade geral de recursos e a eficiência da sua utilização.

A Tabela 3 descreve as características operacionais das clínicas piloto e da zona Norte, nomeadamente o número total de postos de diálise e a distribuição dos turnos de tratamento ao longo da semana. Na coluna “Capacidade” é realizada uma classificação qualitativa em três classes da intensidade da capacidade de todas as clínicas: alta, média e baixa. Esta classificação baseia-se no valor da atividade teórica máxima que se expressa como o número de tratamentos que poderiam ser realizados por mês, tendo em conta o número de postos e os horários das clínicas. As clínicas de alta capacidade têm um grande número de postos e horários de funcionamento mais longos que incluem turnos noturnos, ultrapassando os 1600 tratamentos por mês. As clínicas de capacidade média operam com um número mais reduzido de postos e horários mais limitados, realizando entre 800 a 1600 tratamentos mensais. Por fim, as clínicas de baixa capacidade, com postos e horários mais limitados, realizam menos de 800 tratamentos por mês.

Tabela 3 – Características operacionais das clínicas (Número de postos, Turnos semanais e Capacidade).

Clínicas	Número de Postos	Turnos por Semana (Segunda, Quarta e Sexta)	Turnos por Semana (Terça, Quinta e Sábado)	Capacidade
Linda-a-Velha	50	4	2	Alta
Aveiro	38	4	3	Alta
Vila do Conde	34	4	3	Alta
Paredes	30	2	2	Média
Entrecampos	48	4	3	Alta
Marco de Canaveses	28	2	2	Média
Penafiel	27	4	3	Alta
Peso da Régua	16	2	3	Baixa
Amarante	20	2	1	Baixa
Braga	19	4	3	Alta
Vila Verde	16	4	3	Média

Riba de Ave	18	3	3	Média
Prelada	22	4	1	Média
CMDR	14	3	1	Baixa
Gaia	22	4	2	Média

É importante denotar que os dados de consumo fornecidos pelas clínicas não só contabilizam os recursos efetivamente gastos nos procedimentos de diálise, mas também acrescentam necessidades como iluminação, áreas administrativas, cozinhas e instalações sanitárias. Como estes acréscimos não podem ser separados dos dados disponíveis, os valores globais serão alinhados com o processo de diálise. Tal pressuposto é consistente com as metodologias de investigação adotadas na revisão de literatura, uma vez que o consumo de água e eletricidade que ocorre nas unidades de diálise tem origem nomeadamente nos monitores de diálise e nos equipamentos de tratamento de água. Esta generalização pode causar, no entanto, uma sobreavaliação do consumo associado ao processo, que será considerada durante a interpretação dos resultados.

4.4 Abordagem Analítica

4.4.1 Análise Pré e Pós-Intervenção

A primeira fase da análise consistirá numa comparação dos indicadores de consumo antes e depois da aplicação das soluções. Em cada clínica piloto, será definido um período de análise de 12 meses antes e após a intervenção, ou em cenários com menor disponibilidade de dados, um período mais curto. Esta comparação permitirá quantificar o impacto direto da intervenção no consumo de água e eletricidade por sessão de tratamento, fornecendo uma medida concreta dos ganhos de eficiência dentro neste contexto específico da solução aplicada.

4.4.2 Comparações de Métodos

Posteriormente, será também realizada uma comparação entre os diferentes métodos de poupança de água, que terá em conta os valores de poupança nas clínicas piloto. A comparação será baseada em ICDs, mais especificamente no consumo de água e de eletricidade por sessão.

O objetivo é determinar qual a solução que oferece o melhor ganho relativo e se os ganhos medidos são invariáveis em diversas instalações.

4.5 Estratégia de Extrapolação

Os resultados serão extraídos de acordo com os indicadores estabelecidos no estudo, tendo em conta a utilização do consumo de água (em litros) por sessão de diálise, bem como o consumo de energia (em quilowatts-hora) por sessão. As eficiências alcançadas nas clínicas piloto fornecerão valores de referência que poderão ser aplicados noutras clínicas que não implementaram intervenções semelhantes.

O procedimento compreenderá cinco etapas distintas. Em primeiro lugar, serão determinadas as clínicas de referência que irão fornecer as variações de extrapolação. De seguida, serão criados valores de referência para realizar um ajuste dos valores das variações de acordo com as dimensões das respetivas clínicas onde serão aplicadas. No terceiro passo será efetuado esse mesmo ajuste e, logo de seguida, serão calculadas as poupanças anuais individuais e totais das clínicas. No quinto e último passo serão calculados os consumos médios simulados por tratamento por mês.

Por fim, os resultados extrapolados serão agregados para criar estimativas globais sobre potenciais melhorias no consumo de eletricidade e água nas clínicas da região norte. Esses números agregados servirão de base para discutir cenários futuros, com destaque para a magnitude dos benefícios ambientais que serão alcançados com a aplicação mais ampla das intervenções.

5 Resultados e Discussão

O presente capítulo apresenta os principais resultados de análise do consumo de água e eletricidade pelas clínicas de diálise da Diaverum Portugal, com foco principal nas variações registadas após a implementação de medidas de sustentabilidade. A análise teve em conta tanto os indicadores de consumo mensal como o número de tratamentos realizados, apoiando assim a identificação de padrões de eficiência a longo prazo e diferenças entre clínicas com capacidades operacionais distintas. Além disso, são analisados os impactos imediatos das intervenções implementadas, avaliando a sua potencial aplicabilidade noutras instalações.

5.1 Análise de Dados

Os dados tratados ao longo do capítulo referem-se aos registos mensais de consumo de água (L) e eletricidade (kWh) das clínicas piloto definidas - Aveiro, Vila do Conde, Linda-a-Velha, Paredes e Entrecampos -, com vista a avaliar o desempenho das medidas de sustentabilidade nelas instaladas. Os dados foram extraídos dos sistemas internos de gestão e observação do consumo das clínicas e complementados com dados mensais de atividade expressos em termos do número total de tratamentos realizados por mês. A conjugação destes parâmetros permite criar uma base de dados consistente, capaz de refletir rigorosamente as variações temporais em termos de eficiência.

5.1.1 Estrutura e Normalização dos Dados

De modo a permitir que sejam efetuadas comparações entre unidades de tamanhos e níveis de intensidade operacional diferentes, o consumo foi uniformizado de acordo com a atividade real

das clínicas. Deste modo, foi possível garantir que as diferenças entre as clínicas refletissem melhorias diretas na eficácia do consumo de recursos.

A normalização foi feita com base nos Indicadores-chave de desempenho (ICDs) estabelecidos no capítulo 4. Assim, o consumo mensal total de água e eletricidade foi dividido pelo número de tratamentos realizados no período de tempo correspondente, originando os indicadores de Consumo de Água por Tratamento (L/tratamento) e de Eletricidade por Tratamento (kWh/tratamento), expressos nas equações 3 e 4.

$$\text{Água}_{\text{Tratamento}} = \frac{\text{Consumo Água}_{\text{Mês}} * 1000}{\text{Tratamentos}_{\text{Real}}} \quad (3)$$

$$\text{Eletricidade}_{\text{Tratamento}} = \frac{\text{Consumo Eletricidade}_{\text{Mês}}}{\text{Tratamentos}_{\text{Real}}} \quad (4)$$

Para além dos dois indicadores referidos, foi também calculada a taxa de ocupação, expressa na equação 2, que é dada pela fração entre o número de tratamentos realizados e o número máximo teoricamente possível por mês, tendo em conta o número de postos de diálise, semanas por mês e turnos por semana. Este parâmetro permite averiguar a carga de trabalho das clínicas e, desta forma, permite distinguir as variações de consumo que são resultantes de alterações de carga operacional e variações de eficácia operacional resultante das medidas de sustentabilidade.

$$\text{Índice Ocupação} = \frac{\text{Tratamentos}_{\text{Real}}}{\text{Tratamentos}_{\text{Max}}} \quad (2)$$

Os valores obtidos para as diferentes clínicas piloto estão resumidos nas Tabelas 4 a 8, apresentando períodos de análise de valores de consumos de água por tratamento (L/tratamento), consumos de eletricidade por tratamento (kWh/tratamento) e índices de ocupação. Importa salientar que os dados não estão uniformemente disponíveis para todos os anos ou clínicas, uma vez que apenas foram incluídos os registos necessários à realização do estudo. Assim, as tabelas refletem unicamente os períodos de dados necessários para o estudo das respetivas medidas implementadas nas clínicas piloto, garantindo uma simplificação da pesquisa e das comparações efetuadas.

Tabela 4- Consumos de água (2018 a 2020) e de eletricidade (2023 a 2025) da clínica de Vila do Conde.

Ano	Variável	Mês											
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2018	Consumo Água (L/tratamento)	-	-	-	-	-	462,27	459,72	508,53	495,17	431,39	426,40	431,15
	Índice Ocupação	-	-	-	-	-	0,446	0,467	0,519	0,440	0,466	0,473	0,473
2019	Consumo Água (L/tratamento)	388,85	422,70	403,25	408,58	398,10	460,73	350,00	378,24	388,82	363,43	409,09	384,04
	Índice Ocupação	0,494	0,494	0,487	0,525	0,534	0,499	0,588	0,622	0,550	0,564	0,590	0,590
2020	Consumo Água (L/tratamento)	341,59	378,71	338,91	424,74	388,49	416,54	-	-	-	-	-	-
	Índice Ocupação	0,626	0,625	0,605	0,634	0,615	0,644	-	-	-	-	-	-
2023	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	-	-	-	-	14,55	11,53	6,14	9,04	7,67	9,23	10,14	11,43
	Índice Ocupação	-	-	-	-	0,556	0,554	0,726	0,802	0,755	0,701	0,722	0,738
2024	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	10,75	9,09	8,34	6,77	2,27	1,73	2,04	3,1	4,72	7,57	8,25	10,70

	Índice Ocupação	0,705	0,757	0,711	0,741	0,745	0,736	0,782	0,796	0,725	0,730	0,735	0,704
2025	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	9,84	10,15	7,55	5,08	-	-	-	-	-	-	-	-
	Índice Ocupação	0,699	0,686	0,659	0,698	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5- Consumos de água (2022 a 2024) e de eletricidade (2023 a 2025) da clínica de Aveiro.

Ano	Variável	Mês											
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2022	Consumo Água (L/tratamento)	-	-	-	-	-	-	-	-	425,38	459,83	452,88	429,11
	Índice Ocupação	-	-	-	-	-	-	-	-	0,760	0,740	0,751	0,752
2023	Consumo Água (L/tratamento)	489,08	506,63	480,68	480,54	544,91	538,68	576,56	538,60	649,82	430,09	347,58	334,11
	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	12,24	11,41	10,44	9,98	9,49	9,47	5,66	8,22	8,46	8,95	9,66	11,27
	Índice Ocupação	0,713	0,733	0,747	0,691	0,715	0,711	0,724	0,762	0,717	0,694	0,718	0,725
2024	Consumo	310,19	271,16	244,58	244,59	246,93	247,79	246,48	244,13	258,52	-	-	-

	Água (L/tratamento)												
	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	10,84	9,32	7,86	5,12	4,94	4,40	4,35	4,26	4,96	6,11	6,68	8,19
	Índice Ocupação	0,713	0,744	0,679	0,716	0,715	0,695	0,743	0,748	0,704	0,737	0,744	0,717
2025	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	9,02	8,45	7,14	5,20	-	-	-	-	-	-	-	-
	Índice Ocupação	0,742	0,745	0,740	0,787	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 6- Consumos de eletricidade (2023 a 2025) da clínica de Paredes.

Ano	Variável	Mês											
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2023	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	-	-	-	9,53	9,93	11,04	7,45	11,58	10,49	10,48	10,87	12,40
	Índice Ocupação	-	-	-	0,863	0,866	0,846	0,885	0,844	0,852	0,843	0,850	0,840
2024	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	11,99	11,49	12,42	6,11	3,98	4,92	3,37	3,94	4,13	5,25	5,75	8,37

	Índice Ocupação	0,842	0,856	0,796	0,834	0,837	0,806	0,848	0,810	0,809	0,806	0,822	0,799
2025	Consumo Eletricidade (kWh/tratamento)	9,17	7,62	4,59	3,25	-	-	-	-	-	-	-	-
	Índice Ocupação	0,815	0,807	0,820	0,806	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 7- Consumos de água (2024 e 2025) da clínica de Linda-a-Velha.

Ano	Variável	Mês											
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2024	Consumo Água (L/tratamento)	-	-	-	-	-	-	-	293,60	421,63	274,87	264,39	282,08
	Índice Ocupação	-	-	-	-	-	-	-	0,659	0,634	0,651	0,662	0,641
2025	Consumo Água (L/tratamento)	271,05	308,25	259,88	278,99	174,29	-	-	-	-	-	-	-
	Índice Ocupação	0,667	0,650	0,628	0,628	0,615	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 8- Consumos de água (2023 a 2025) da clínica de Entrecampos.

Ano	Variável	Mês											
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2024	Consumo Água (L/tratamento)	-	318,30	320,08	355,64	351,86	334,26	362,15	379,81	365,17	311,53	252,46	274,61
	Índice Ocupação	-	0,687	0,654	0,692	0,709	0,663	0,697	0,664	0,674	0,709	0,707	0,692
2025	Consumo Água (L/tratamento)	278,75	263,83	255,55	296,46	285,67	-	-	-	-	-	-	-
	Índice Ocupação	0,676	0,705	0,686	0,713	0,694	-	-	-	-	-	-	-

A normalização e organização dos dados fornecem então o enquadramento necessário para possibilitar as comparações e análises de tendências nos subcapítulos seguintes, permitindo determinar objetivamente o impacto das intervenções de sustentabilidade implementadas nas diferentes clínicas.

5.1.2 Análise de Tendências

Para avaliar as tendências de variação antes e após a implementação das medidas de sustentabilidade, foram construídas séries temporais para avaliar a oscilação mensal da utilização de eletricidade e água pelas clínicas piloto, com base nos dados normalizados apresentados nas Tabelas 4 a 8.

Os dados foram tratados, conforme descrito previamente, em dois períodos de análise para cada medida: um período pré-instalação, coincidente com os 12 meses anteriores a data de instalação, e um período pós-instalação, com duração até 12 meses após essa data, consoante os registos disponíveis. No caso das osmose térmicas, os meses de instalação não foram considerados na análise, dado que, numa fase inicial de funcionamento, tanto a osmose química como a nova osmose térmica coexistem. Trata-se de um procedimento necessário para garantir a verificação microbiológica e funcional da nova osmose, o que implica uma sobreposição temporal e um aumento pontual do consumo de água. Nos casos em que o período pós-instalação não abrangeu os 12 meses inicialmente definidos (Entrecampos e Linda-a-Velha), a análise foi realizada com base no período máximo pós-instalação disponível.

Os sistemas de osmose térmica foram analisados com base nos sistemas instalados nas clínicas de Aveiro (setembro de 2023) e Vila do Conde (junho de 2019). A Figura 24 representa o consumo mensal normalizado de água (L/tratamento) da unidade de tratamento de água da clínica de Aveiro, 12 meses antes (a) e após (b) a instalação desta intervenção.

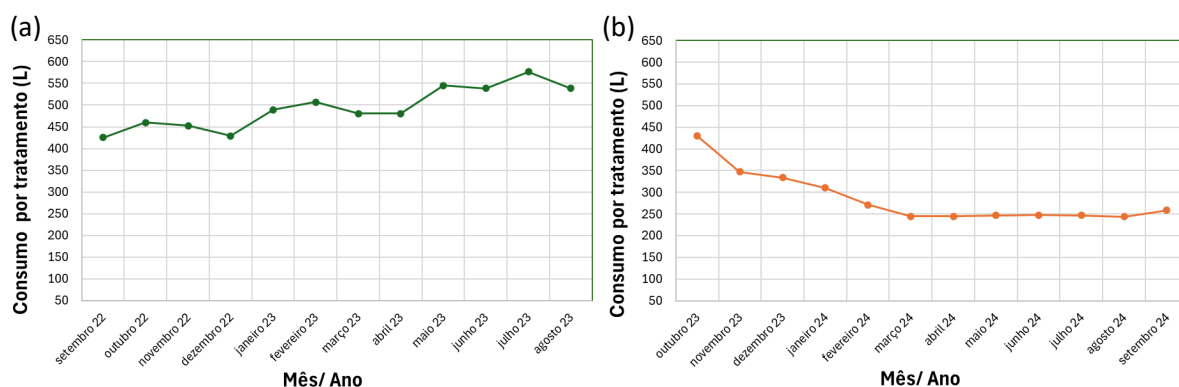


Figura 24 – Consumos de água da clínica de Aveiro: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).

No caso da clínica de Aveiro, o consumo médio antes da implementação era de 493,58 L/tratamento, com uma variabilidade mensal aproximada entre 425 e 575 L/ tratamento. Após a entrada em funcionamento do sistema de osmose térmica, o consumo diminuiu de forma gradual tendo atingido um valor médio de 285,51 L/tratamento ao longo dos 12 meses seguintes, estabilizando-se em cerca de 245 L/tratamento/mês a partir do segundo trimestre de 2024. Uma vez que o índice de ocupação da clínica se manteve estável, com uma média de 0,733 antes da instalação e de 0,716 após a instalação, as reduções de consumo demonstradas na Figura 24 correspondem a melhorias reais de eficiência e não a variações na carga de trabalho.

Na Figura 25 encontram-se apresentados os consumos mensais ao longo de 24 meses na clínica de Vila do Conde, onde (a) representa os 12 meses prévios à instalação da osmose térmica e (b) os 12 meses posteriores.

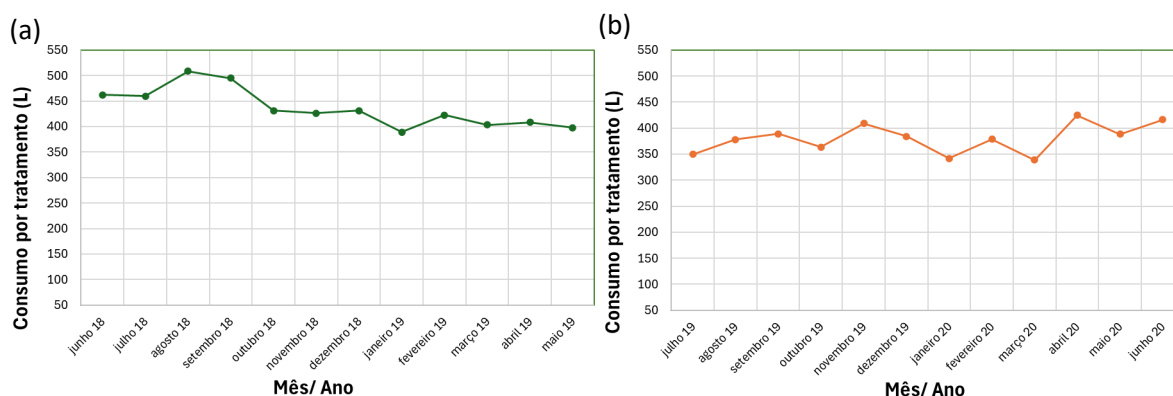


Figura 25 – Consumos de água da clínica de Vila do Conde: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).

A clínica de Vila do Conde apresentou uma redução no consumo médio por tratamento antes da instalação do sistema de osmose térmica de 436,34 L/tratamento tendo o consumo médio por tratamento passado para 380,22 litros por tratamento após a intervenção. Embora esta redução seja menos acentuada do que a verificada na clínica de Aveiro, dois fatores principais podem explicar esta diferença. Por um lado, o nível médio de ocupação da clínica aumentou, passando de 0,485 antes da intervenção para 0,604 após a instalação da osmose térmica. Este incremento traduz uma utilização mais intensiva da capacidade da clínica e, consequentemente, um consumo de água mais elevado, dado o número superior de tratamentos, o que atenua o efeito da poupança hídrica individual por sessão. Por outro lado, em relação à clínica de Aveiro, o nível absoluto de ocupação desta unidade, mesmo com o aumento substancial, é

comparativamente mais baixo, limitando a margem de redução dos consumos. Assim, a menor variação observada na clínica de Vila do Conde não é um sinal de menor eficácia da tecnologia, mas sim um resultado do seu perfil operacional e da carga de utilização.

De modo a isolar o impacto técnico da osmose térmica e eliminar a influência do aumento de tratamentos, foi aplicado um fator de correção que ajusta o consumo pós-intervenção para o mesmo índice de ocupação do período prévio. O consumo corrigido é calculado através da equação 5.

$$Consumo_{Corr} = \frac{Consumo_{Pós} * Índice Ocupação_{pré}}{Índice Ocupação_{Pós}} \quad (5)$$

Onde:

- **Consumo_{Corr}** representa o consumo de água corrigido;
- **Consumo_{Pós}** representa o consumo médio de água observado após a implementação;
- **Índice Ocupação_{Pré}** representa o índice médio de ocupação antes da instalação das medidas;
- **Índice Ocupação_{Pós}** representa o índice médio de ocupação após a instalação das medidas.

Substituindo os valores na equação anterior, obtém-se:

$$Consumo_{Corr} = \frac{380,22 * 0,485}{0,604} \cong 305,31 \text{ L/tratamento}$$

O valor obtido demonstra que, mantendo o índice de ocupação do período pré-intervenção, o consumo médio por tratamento teria sido de aproximadamente 305,31 L/tratamento, em vez de 380,22 L/tratamento.

Os painéis fotovoltaicos foram introduzidos em Aveiro (janeiro de 2024), Paredes (abril de 2024) e Vila do Conde (maio de 2024). A Figura 26 demonstra a variação mensal do consumo de energia elétrica (kWh/tratamento) antes (a) e após (b) a adição dos painéis em Aveiro.

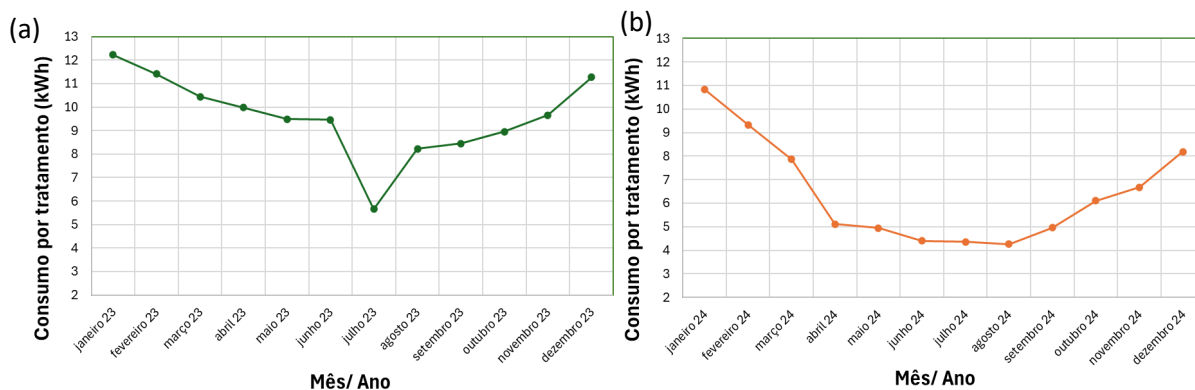


Figura 26- Consumos de eletricidade da clínica de Aveiro: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).

A Figura 27 representa a variação mensal do consumo energético (kWh/tratamento) antes (a) e após (b) a adição dos painéis fotovoltaicos em Vila do Conde.

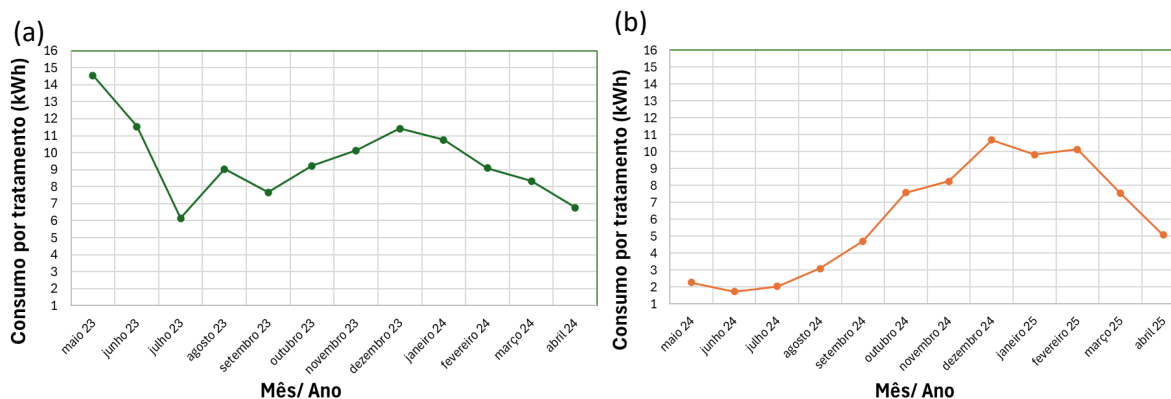


Figura 27 – Consumos de eletricidade da clínica de Vila do Conde: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).

Na Figura 28 encontra-se representada a variação mensal do consumo de energia (kWh/tratamento) antes (a) e após (b) a instalação dos painéis fotovoltaicos em Paredes.

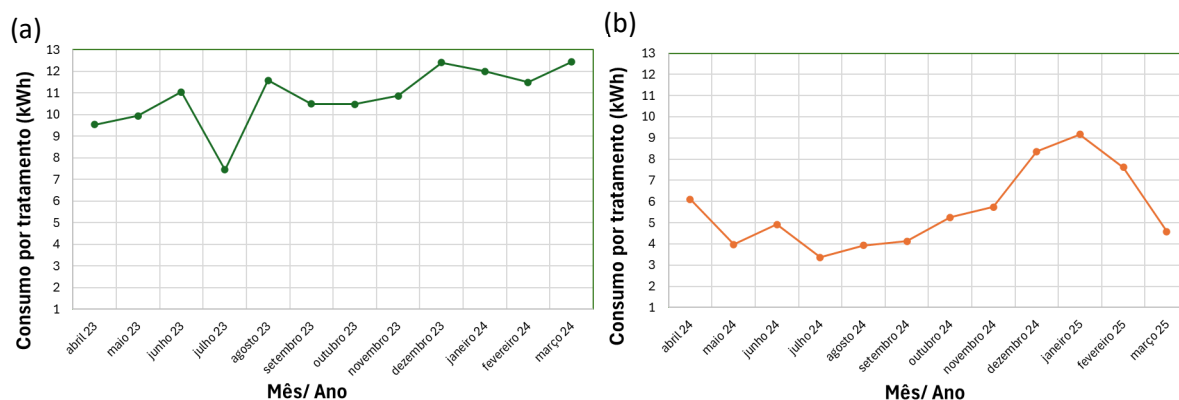


Figura 28 – Consumos de eletricidade da clínica de Paredes: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).

A utilização de sistemas fotovoltaicos resultou numa redução substancial do consumo de energia elétrica nas três clínicas onde foram aplicados. Na clínica de Aveiro, o consumo médio por tratamento reduziu de 9,60 para 6,42 kWh, enquanto na clínica de Vila do Conde a diminuição foi de 9,56 para 6,08 kWh por tratamento. O impacto dos painéis foi ainda mais significativo na clínica de Paredes, onde se registou uma diminuição média de 10,81 para 5,60 kWh por tratamento. De uma forma geral, os consumos mais reduzidos ocorreram no segundo e terceiro trimestre, o que coincide com um aumento da produção de energia solar e confirma a influência sazonal neste sistema de sustentabilidade. Considerando que o nível de ocupação se manteve estável (com variações inferiores a $\pm 0,05$), as reduções observadas são evidência de ganhos reais de eficiência energética, não sendo influenciadas por fatores operacionais.

O sistema *Testomat* foi implementado na clínica Entrecampos (outubro de 2024) para controlar automaticamente a dureza residual da água e otimizar os ciclos de regeneração dos descalcificadores. Para efeitos desta análise, foram considerados 16 meses, 8 antes da intervenção e 8 após a mesma, uma vez que os registos de dados se estendiam por esse período. Na Figura 29 é possível observar as tendências dos consumos de água ao longo dos meses na clínica Entrecampos.

Antes da intervenção o consumo médio era de aproximadamente 348,41 L por tratamento, com algumas variações mensais. Nos 8 meses subsequentes à instalação, o consumo diminuiu para um consumo médio de 279,33 L por tratamento, estabelecendo uma melhoria focada na

eficiência do pré-tratamento. Esta diminuição corresponde a uma maior precisão na regulação da dureza da água, o que evita regenerações desnecessárias dos descalcificadores e reduz o desperdício de água. O índice de ocupação manteve-se estável ao longo dos 16 meses. Contudo, neste sistema, uma maior carga operacional não se reflete num aumento do consumo de água uma vez que o *Testomat* se encontra no pré-tratamento, junto dos descalcificadores, das unidades de tratamento de água.

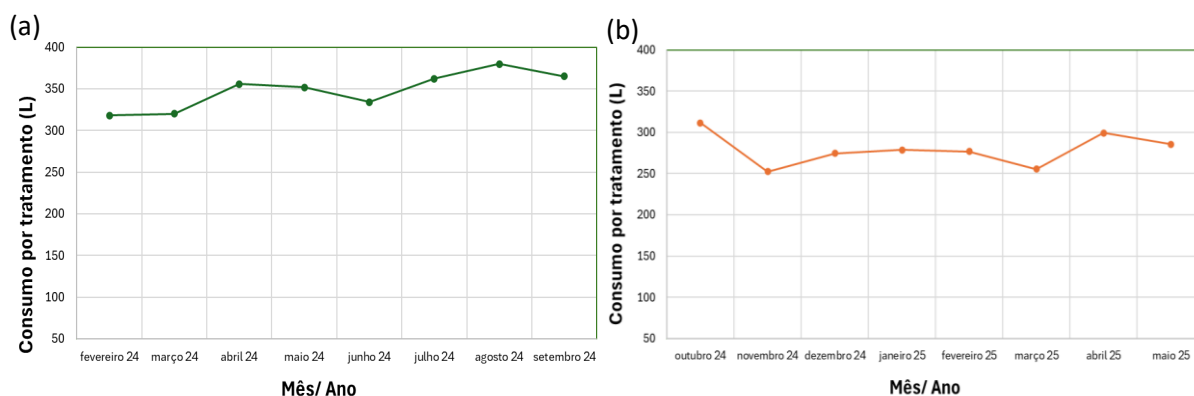


Figura 29- Consumos de água da clínica de Entrecampos: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).

O sistema de reutilização de água da rejeição da osmose inversa foi implementado na clínica de Linda-a-Velha em janeiro de 2025 (Figura 30), com o objetivo permitir a reutilização da água para fins não clínicos, como limpeza e descarga de sanitários. Tal como o sistema *Testomat*, e devido à falta de registos completos, a análise para esta medida limita-se a um período de cinco meses antes e cinco meses após a intervenção. O consumo médio reduziu de cerca de 307,31 L por tratamento para 258,49 L por tratamento. Esta redução comprova o impacto imediato desta medida numa melhor gestão do consumo da água, sem influência relevante do índice de ocupação, que se manteve numa média de 0,644 ao longo dos 10 meses.

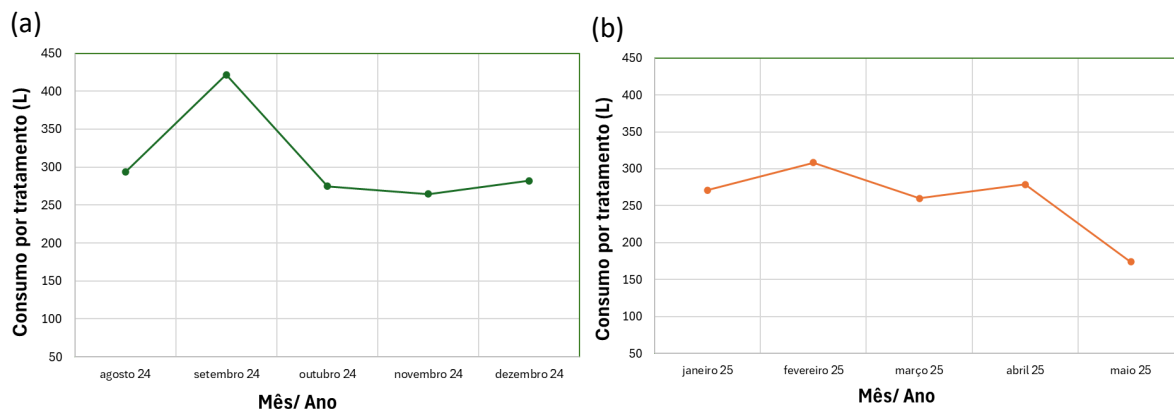


Figura 30 – Consumos de água da clínica de Linda-a-Velha: a) Antes da instalação (12 meses); b) Após a instalação (12 meses).

5.1.3 Comparação de Medidas

O presente subcapítulo apresenta uma comparação numérica das diferenças encontradas no consumo de água (L/tratamento) e energia (kWh/tratamento) entre os períodos pré e pós-intervenção nas clínicas piloto. O objetivo é avaliar quantitativamente os efeitos das iniciativas de sustentabilidade implementadas e a consistência dos resultados entre clínicas com diferentes características operacionais, bem como a magnitude das reduções obtidas.

As variações foram estimadas em termos absolutos (ΔC) e em percentagem ($\Delta C \%$), utilizando os valores médios mensais apresentados no subcapítulo anterior. Foi também realizada uma análise sazonal e foram efetuados estudos comparativos classificados por tipo de medição.

5.1.3.1 Análise Quantitativa das Variações

As diferenças absolutas e relativas no consumo médio normalizado foram definidas com as médias mensais registadas para cada clínica, descritas no subcapítulo anterior. As diferenças nos intervalos antes e depois da intervenção foram calculadas de acordo com as seguintes equações 6 e 7:

$$\Delta C \% = \frac{\text{Consumo}_{Pré} - \text{Consumo}_{Pós}}{\text{Consumo}_{Pré}} * 100 \quad (6)$$

$$\Delta C = \text{Consumo}_{Pré} - \text{Consumo}_{Pós} \quad (7)$$

Onde:

- **Consumo** _{Pré} representa o consumo médio no período anterior à implementação da medida;
- **Consumo** _{Pós} representa o consumo médio no período posterior à implementação da medida;
- **ΔC** representa a variação absoluta dos consumos (água e eletricidade);
- **ΔC %** representa a variação relativa dos consumos expressa em percentagem.

Na Tabela 9 encontram-se as médias dos valores dos consumos pré e pós as implementações, as variações absolutas e relativas para cada implementação e os respetivos índices de ocupação das clínicas.

Tabela 9- Valores pré e pós implementações dos consumos de água e eletricidade, das variações e dos índices de ocupação.

Clínica	Medida	Consumo (Pré)	Consumo (Pós)	ΔC	ΔC %	Índice O. (Pré)	Índice O. (Pós)
		L/tratamento					
Aveiro	Osmose Térmica	493,58	285,51	208,07	42,2	0,733	0,716
Vila do Conde		436,34	380,22	56,12	12,9	0,485	0,604
Entrecampos	Sistema <i>Testomat</i>	348,41	279,33	69,08	19,8	0,680	0,698
Linda-a-Velha	Reap. de Água da RO	307,31	258,49	48,82	15,9	0,649	0,638
		kWh/tratamento					
Aveiro	Painéis Fotovoltaicos	9,60	6,42	3,18	33,1	0,721	0,721
Vila do Conde		9,56	6,08	3,48	36,4	0,706	0,725
Paredes		10,81	5,60	5,21	48,2	0,849	0,818

A Figura 31 (a) demonstra as variações no consumo médio de água (L/tratamento) nas clínicas com tecnologias de poupança de água. Por outro lado, a Figura 31 (b) mostra as variações no consumo de eletricidade (kWh/tratamento) em clínicas com as instalações fotovoltaicas. As Figuras permitem a identificação simultânea das variações de escala das clínicas e a expressão visual da redução do consumo, facilitando assim a identificação comparativa das melhorias alcançadas.

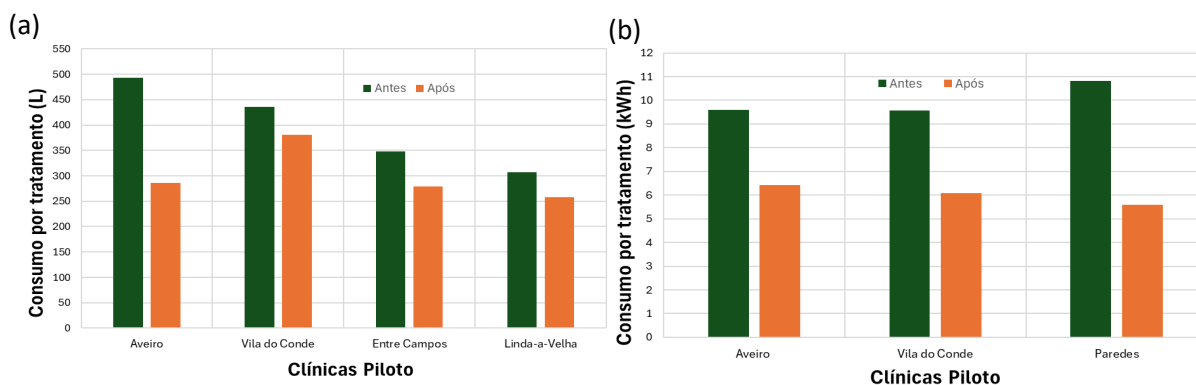


Figura 31 – Variações dos consumos nas clínicas piloto pré e pós implementações: a) Água; b) Eletricidade.

5.1.3.2 Comparações de Medidas

Entre as várias estratégias concebidas para melhorar a eficiência hídrica, a osmose térmica revelou-se a mais eficaz. A clínica de Aveiro apresentou a redução mais significativa no consumo de água (42,2 %), validando assim o efeito da substituição da osmose química por um sistema térmico que elimina a necessidade de desinfetantes químicos e diminui significativamente os gastos com as desinfecções e lavagens. A natureza sustentada desta redução nos meses subsequentes à instalação demonstra que se trata de uma melhoria fundamental e duradoura na metodologia de tratamento da água.

Na clínica de Vila do Conde, a diminuição observada foi menos expressiva, com 12,9 %, um efeito que pode ser explicado pelo aumento da taxa de ocupação e, conseqüentemente, do número de tratamentos realizados após a intervenção. O aumento da exigência operacional implica normalmente um aumento no consumo total, o que reduz o efeito da poupança por tratamento. Ainda assim, o consumo médio manteve um padrão de declínio constante, validando novamente a eficiência da osmose térmica.

O sistema *Testomat*, instalado na clínica de Entrecampos, proporcionou uma redução média de 19,8 %, o que demonstra as vantagens operacionais alcançadas com a automatização da leitura

da dureza residual e com a melhoria dos ciclos de regeneração nos descalcificadores. Intervenções como estas têm um efeito indireto na produção de água, permitindo melhorias sem interferir de forma alguma na atividade do sistema principal.

Por último, o reaproveitamento da água rejeitada pela osmose inversa na clínica de Linda-a-Velha demonstrou uma redução no consumo de 15,9 %, comprovando os benefícios diretos da utilização de fluxos anteriormente descartados para aplicações não clínicas. A análise realizada após a intervenção abrange apenas cinco meses, mas a redução progressiva no consumo valida a eficiência direta e significativa do sistema.

A avaliação comparativa baseada na Figura 32 indica que as tecnologias com maior efeito direto no processo de poupança de água, como as osmose térmicas, proporcionam reduções mais substanciais, devido às modificações estruturais introduzidas no ciclo de tratamento da água e à eliminação de fases com um consumo intensivo de água. Por outro lado, as intervenções de controlo e reutilização, como o sistema *Testomat* e a reutilização da água rejeitada pela osmose inversa, proporcionam poupanças adicionais e cumulativas, embora mais lentas, que se revelam estáveis e sustentáveis a longo prazo. Estas intervenções, embora menos perceptíveis em termos de efeito individual, têm o valor estratégico da otimização contínua do sistema, permitindo uma melhoria progressiva da eficiência e uma maior racionalização do consumo de água.

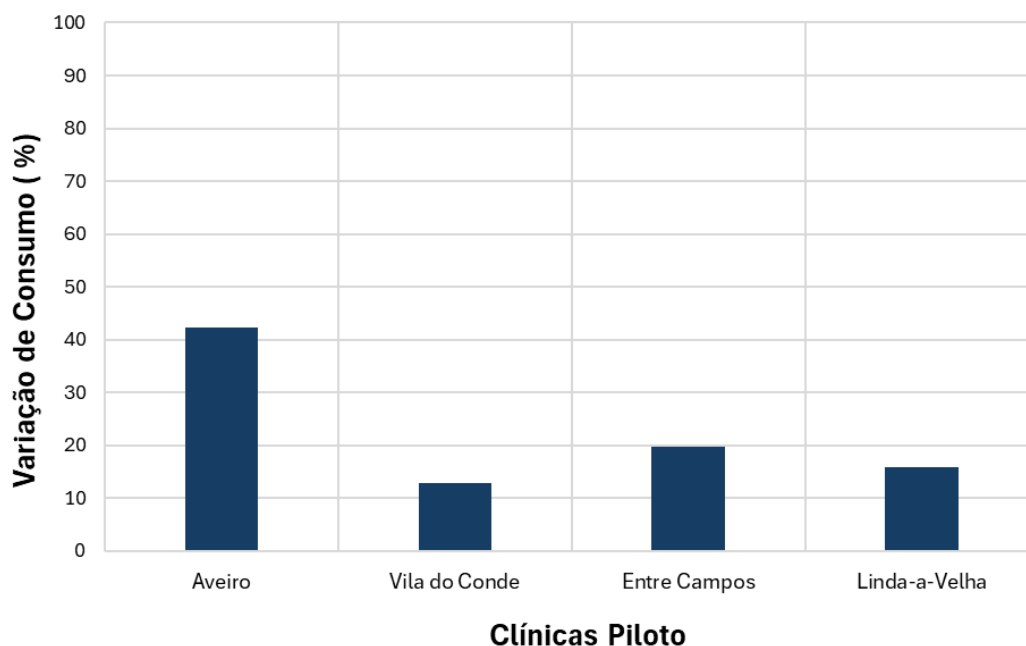


Figura 32 – Variação percentual dos consumos de água antes e após as implementações.

No caso dos sistemas de energia, as três clínicas com sistemas fotovoltaicos registaram reduções consideráveis no consumo de eletricidade. A clínica de Paredes apresentou a maior redução (48,2 %), resultando numa correspondência mais eficiente entre o consumo e os horários de produção solar, o que possibilitou um grau mais elevado de autoprodução e menor dependência da rede elétrica.

Em Vila do Conde a diminuição foi de 36,4 %, também ligeiramente superior à de Aveiro (33,1 %), possivelmente devido à intensidade solar local e às taxas de consumo diurno mais baixas. Nas duas clínicas, as diminuições são regulares e acentuaram-se nos meses de maior radiação, validando novamente o efeito sazonal da produção solar.

Globalmente, os resultados mostram que as reduções observadas confirmam a hipótese de que os painéis fotovoltaicos são uma solução estável e fiável, com eficácia semelhante em diferentes condições de funcionamento, com diferenças que se refletem apenas na capacidade da instalação e na proporção de consumo de energia diurno e noturno ao nível das unidades. A Figura 33 mostra a distribuição das reduções observadas.

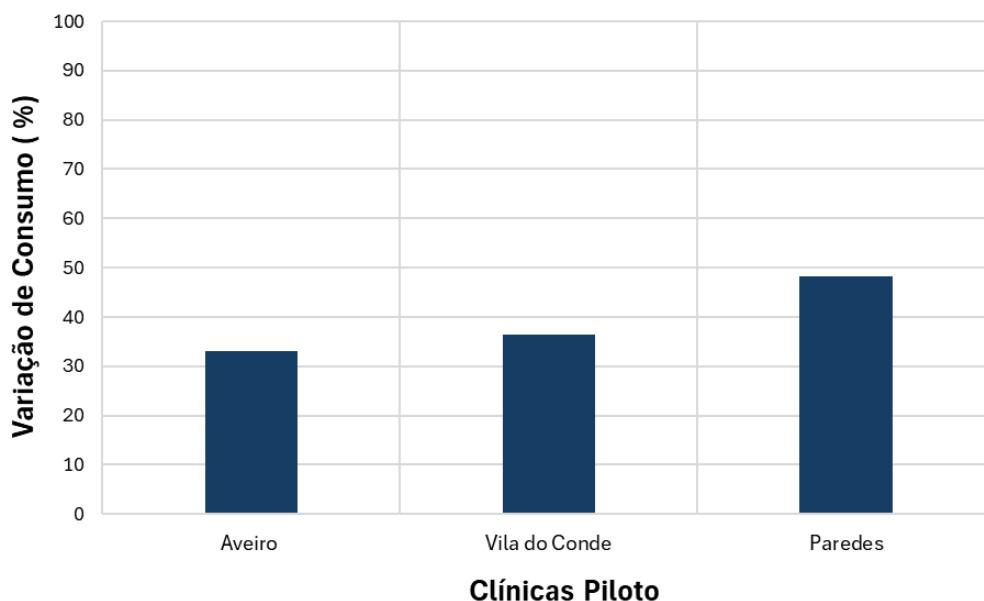


Figura 33 – Variação percentual dos consumos de eletricidade antes e após as implementações.

5.1.3.3 Avaliação Sazonal dos Consumos

Esta secção analisa o comportamento sazonal relacionado com o consumo de água e eletricidade nas clínicas piloto. Os gráficos apresentados nas Figuras 34 e 35 referem-se aos valores médios mensais normalizados, no caso dos períodos pós-intervenção, permitindo assim identificar possíveis diferenças atribuíveis às variações climáticas ao longo do ano.

A Figura 34 apresenta a evolução sazonal do consumo de água (L/tratamento) nas duas clínicas com medidas hídricas implementadas com 12 meses ou mais de funcionamento: Aveiro (a) e Vila do Conde (b).

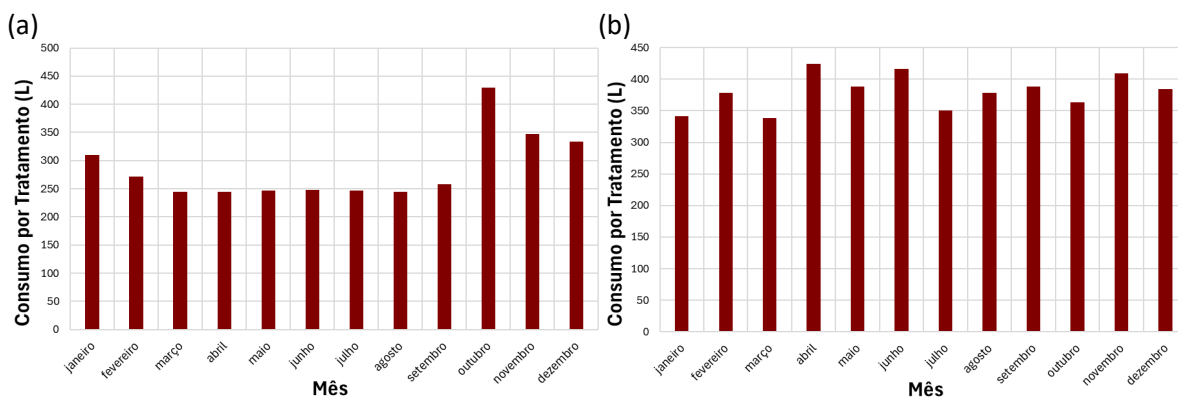


Figura 34 – Evolução sazonal dos consumos de águas pós-intervenção nas clínicas: a) Aveiro e b) Vila do Conde.

De modo geral, o consumo de água é estável em termos sazonais, com variações limitadas entre as estações. Em todas as clínicas, os padrões de consumo pós-intervenção permanecem consistentes e previsíveis, sem flutuações significativas relacionadas com as alterações climáticas.

Nas clínicas com osmose térmica, o consumo de água aumenta ligeiramente no verão. Isso acontece principalmente porque são realizados mais tratamentos, contudo tem pouco impacto na média anual. Nos outros casos, o consumo de água permanece inalterado. Isto indica que as medidas de poupança de água, que se destinam ao controlo e à reutilização da água, não são afetadas por variações sazonais externas.

A Figura 35 apresenta as variações sazonais do consumo de eletricidade (kWh/tratamento) nas três clínicas com sistemas fotovoltaicos: Aveiro (a), Paredes (b) e Vila do Conde (c).

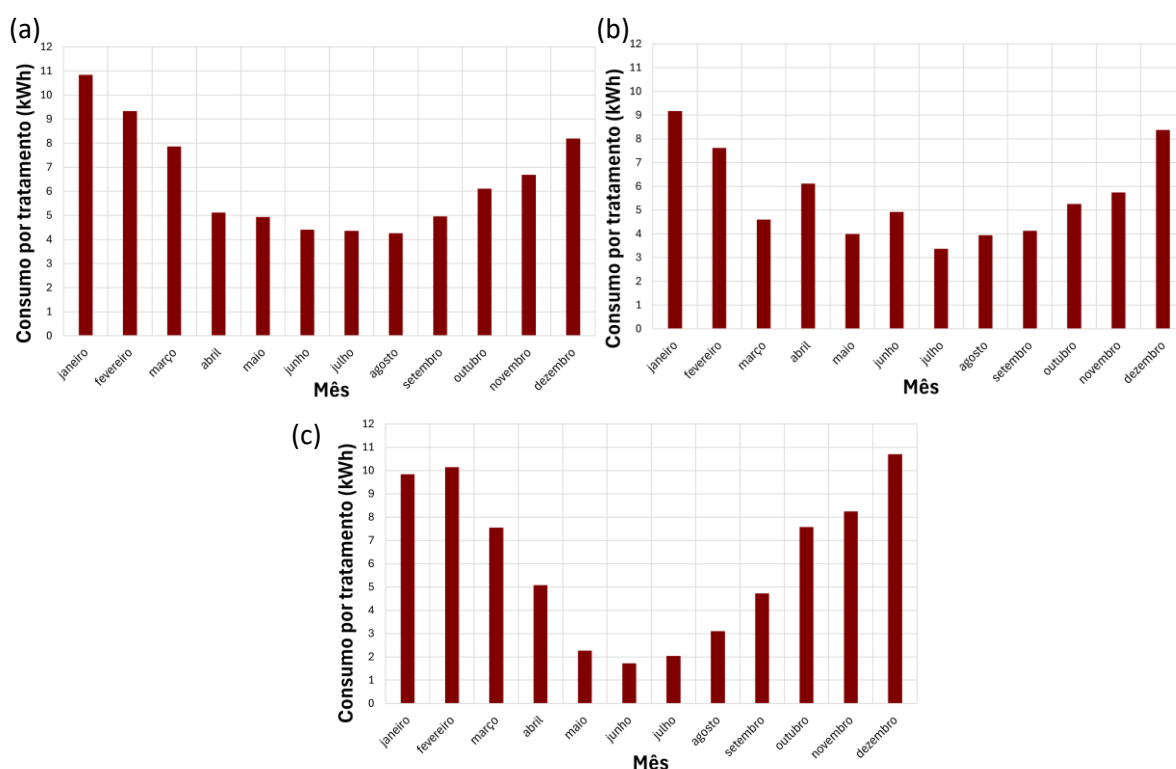


Figura 35 – Evolução sazonal dos consumos de eletricidade pós-intervenção nas clínicas: a) Aveiro; b) Paredes; c) Vila do Conde.

Ao contrário do que acontece com o consumo de água, o consumo de energia apresenta perfis sazonais, relacionados com a disponibilidade de radiação solar. O consumo mais baixo em todas as clínicas ocorre no verão e na primavera, em conformidade com a produção fotovoltaica máxima.

No outono e no inverno, o consumo aumenta regularmente devido à menor produção solar. Contudo, o consumo após-intervenção permanece sempre abaixo dos valores de consumo anteriores à instalação, confirmando assim que o efeito sazonal se manifesta apenas nas variações relativas e não em perdas de eficiência.

5.2 Implementação e Avaliação de Propostas de Otimização

Após a análise dos resultados obtidos nas clínicas piloto, o objetivo será extrapolar as melhorias de eficiência observadas para outras clínicas de diálise, nomeadamente as localizadas na região norte. Ao longo deste subcapítulo serão simulados os potenciais resultados da aplicação das intervenções aos consumos médios de água e eletricidade por tratamento e ao consumo total anual de cada clínica, de forma a estimar a melhoria esperada no desempenho ambiental atual.

5.2.1 Metodologia de Extrapolação

O método de extrapolação seguiu uma abordagem quantitativa, a partir dos resultados empíricos obtidos no subcapítulo 5.1 e das características operacionais de cada clínica descritas no capítulo 4. O processo incluiu os seguintes procedimentos:

1. Seleção das clínicas de referência

As eficiências médias das clínicas piloto foram utilizadas como valores de referência dos consumos (ΔC) para cada parâmetro, representando a melhoria média obtida com a intervenção. A clínica de referência foi selecionada com base na estabilidade dos dados e na ausência de interferências operacionais que pudessem afetar o resultado, tendo sido criada a Tabela 10:

Tabela 10- Valores de referência para cada implementação e as respectivas clínicas.

Implementação	Clínica	ΔC
Osmose Térmica	Aveiro	208.7 L/tratamento
Sistema Testomat	Entrecampos	69.08 L/tratamento
Reutilização de Água da Rejeição da Osmose	Linda-a-Velha	48.82 L/tratamento
Painéis Fotovoltaicos	Paredes	5,21 kWh/tratamento

2. Ajuste proporcional dos valores de referência

De forma a representar adequadamente o potencial de otimização de cada unidade, os valores de referência (ΔC) das clínicas piloto foram dimensionados de forma proporcional com base no consumo médio real de água e energia por tratamento. Nesse sentido, foram calculados fatores de correção individual para cada componente, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Faixas de consumos, classificações e fatores de correção.

Faixa de Consumo Real (L/trat)	Faixa de Consumo Real (kWh/trat)	Classificação	Fator de Correção (%)
>800	>12	Muito ineficiente	100
600-800	10-12	Ineficiente	80
450-600	8-10	Médio	60
350-450	6-8	Eficiente	40
<350	<6	Muito eficiente	20

O ajuste garante que as clínicas com índices de consumos mais elevados e, portanto, com maior potencial de melhoria, mantenham a eficácia total das intervenções. Por outro lado, as clínicas com maior eficiência também obtêm reduções ajustadas, mantendo assim o consumo projetado dentro de margens plausíveis.

3. Aplicação das medidas hídras e energéticas

Uma vez que as medidas destinadas a melhorar a eficiência hídrica funcionam em várias fases do processo de tratamento da água, elas podem ser implementadas cumulativamente, sem a ocorrência de redundâncias. A poupança teórica agregada de água para cada tratamento está demonstrada na equação 8:

$$\Delta_{Total} = (\Delta_{Osmose\ Térmica} + \Delta_{Testomat} + \Delta_{Reaproveitamento}) * \frac{F_{corr}}{100} \quad (8)$$

Onde:

- Δ_{Total} representa a poupança total de água por tratamento (L/tratamento);
- $\Delta_{Osmose\ Térmica}$ representa a redução média do consumo de água devido à instalação do sistema de osmose térmica (L/tratamento);
- $\Delta_{Testomat}$ representa a redução média do consumo de água devido à instalação do sistema *Testomat* (L/tratamento);
- $\Delta_{Reaproveitamento}$ representa a redução média do consumo de água devido à instalação do sistema de reaproveitamento de água de rejeição da osmose (L/tratamento);
- F_{corr} representa o fator de correção da variação.

Substituindo os valores médios obtidos nas clínicas piloto:

$$\Delta_{Total} = 326.6 * \frac{F_{corr}}{100} \text{ L/tratamento}$$

O resultado de 326,6 L/tratamento representa o ganho máximo de eficiência hídrica potencial que uma clínica pode obter por sessão de tratamento, caso sejam implementadas simultaneamente as três medidas.

Para a componente energética, considerou-se a única medida associada à instalação de painéis fotovoltaicos, por ser a única intervenção com efeito no consumo elétrico das clínicas. A redução média de energia por tratamento é apresentada abaixo:

$$\Delta_{Elettricidade} = 5,21 * \frac{F_{corr}}{100} \text{ kWh/tratamento}$$

4. Cálculo da poupança mensal e anual

Para cada clínica da região Norte que não implementou as intervenções, o consumo projetado foi obtido a partir do número médio mensal de tratamentos realizados, conforme as equações 9, 10 e 11:

$$Poupança_{Mês} = (\Delta_{Total} * N_{tratamentos/mês})/1000 \quad (9)$$

$$Poupança_{Mês} = \Delta_{Eletricidade} * N_{tratamentos/mês} \quad (10)$$

$$Poupança_{Ano} = Poupança_{Mês} * 12 \quad (11)$$

Onde:

- **Poupança_{Mês}** representa a poupança total por mês (m³ ou kWh);
- **N_{tratamentos/mês}** representa o número médio de tratamentos por mês ao longo de um ano;
- **Poupança_{Ano}** representa a poupança de total por ano (m³ ou kWh).

5. Simulação e comparação com o período real

Para avaliar o impacto prático produzido nas intervenções, foi realizada uma simulação comparativa entre o consumo médio nos 12 meses mais recentes e o consumo simulado com a implementação cumulativa das intervenções de otimização. As equações 12 e 13 foram utilizadas para o efeito.

$$Consumo_{Simulado} = Consumo_{Real} - \Delta_{Total} \quad (12)$$

$$Consumo_{Simulado} = Consumo_{Real} - \Delta_{Eletricidade} \quad (13)$$

Onde:

- **Consumo_{Simulado}** representa o consumo médio normalizado simulado anual por tratamento (L/tratamento ou kWh/tratamento);
- **Consumo_{Real}** representa o consumo médio normalizado atual anual por tratamento (L/tratamento ou kWh/tratamento).

Com o objetivo de verificar a redução percentual dos consumos antes e após a simulação, recorreu-se à equação 14.

$$Redução \% = \frac{Consumo_{Real} - Consumo_{Simulado}}{Consumo_{Real}} * 100 \quad (14)$$

Onde:

- **Redução %** representa a redução percentual entre o consumo real e o consumo simulado

Esta análise permite estimar o potencial de melhoria efetiva das unidades caso as intervenções fossem aplicadas de forma integrada.

5.2.2 Simulação e Discussão

A simulação teve como objetivo principal analisar a potencial redução no consumo de água e energia em clínicas da região norte, tendo em vista a adoção simultânea das medidas de sustentabilidade estudadas. Para a extrapolação foram utilizados os valores médios das melhorias por tratamento (ΔC), explicados no subcapítulo 5.2.1, tendo em conta a eficiência registada nas clínicas-piloto: Aveiro (osmose térmica), Entrecampos (sistema *Testomat*), Linda-a-Velha (reutilização de água recusada) e Paredes (painéis fotovoltaicos).

Para o efeito, foram formulados modelos quantitativos para a poupança de energia e água com base na frequência média mensal de tratamentos em cada clínica e nas suas características operacionais. A análise consistiu em determinar o efeito cumulativo das intervenções, caso fossem adotadas coletivamente, bem como avaliar a sua consistência técnica e ambiental, em conformidade com a literatura existente.

A Tabela 12 representa uma simulação da quantidade anual de poupança dos consumos de água e eletricidade para todas as clínicas na zona norte, tendo em consideração a implementação simultânea das medidas anteriormente discutidas e os respetivos volumes médios mensais de tratamentos nos últimos 12 meses de registos. Nesta tabela estão presentes as clínicas alvo da extrapolação, os respetivos tratamentos médios por ano e consumos médios por ano (água e eletricidade), os valores de referência para cada medida implementada e as respetivas poupanças hídricas e energéticas expectáveis para cada clínica.

Tabela 12- Poupanças hídricas e energéticas anuais das clínicas da região Norte.

Clínica	Tratamentos (média num ano)	Consumo hídrico real (L/trat)	Consumo energético real (kWh/trat)	ΔOsmose Térmica (L/trat)	ΔTestomat (L/trat)	ΔReaproveitamento (L/trat)	ΔEletricidade (kWh/trat)	Poupança hídrica (m³/ano)	Poupança energética (kWh/ano)
Braga	1311	473,02	8,84	125,2	41,4	29,3	3,13	3081,9	49241
Penafiel	1293	375,80	11,44	83,5	27,6	19,5	4,17	2026,4	64702
Vila do Conde	2249	362,76	6,08	0	27,6	19,5	0	1271,1	0
Prelada	883	484,24	11,19	125,2	41,4	29,3	4,17	2075,8	44185
Marco de Canaveses	1135	378,66	3,57	0	27,6	19,5	1,04	641,50	14165
Vila Verde	1184	429,42	9,92	83,5	27,6	19,5	3,13	1855,6	44471
Riba de Ave	1290	446,36	11,61	83,5	27,6	19,5	4,17	2021,7	64552
Gaia	1446	424,11	9,85	83,5	27,6	19,5	3,13	2266,2	54312
Peso da Régua	792	964,34	13,99	208,7	69,08	48,82	5,21	3104,0	49516
Amarante	485	376,78	22,11	0	27,6	19,5	5,21	274,12	30322
CMDR	601	626,73	15,21	167	55,3	39,0	5,21	1884,5	37574
Paredes	1276	407,18	5,36	83,5	27,6	19,5	0	1999,7	0
Total								22 502	453 040

A análise dos resultados demonstra diferenças significativas nas poupanças anuais entre as clínicas, as quais estão correlacionadas com a dimensão, o número médio de tratamentos e o perfil de consumo de energia na zona Norte. As clínicas de Braga, Penafiel, Gaia e Riba de Ave apresentam as maiores reduções combinadas, com poupanças hídricas anuais entre 2000 e 3100 m³ por ano e poupanças de energia superiores a 49 000 kWh por ano, confirmando assim a relação significativa entre a amplitude operacional e o benefício total obtido com a implementação de práticas sustentáveis.

Nos casos de Vila do Conde e Paredes, apesar de apresentarem reduções consideráveis no consumo de água (aproximadamente 1200-2000 m³/ano), não demonstram poupanças de energia correspondentes. Este fenómeno é atribuído ao facto de estas clínicas já disporem de sistemas fotovoltaicos, que serviram de ponto de referência para a análise.

Por outro lado, os centros de saúde de Amarante e Marco de Canaveses apresentam uma poupança de água reduzida, com menos de 1000 m³ por ano. Tal facto é justificado por já possuírem sistemas de osmose térmica operacionais, pelo que a simulação considerou apenas os efeitos suplementares dos sistemas *Testomat* e de reaproveitamento da água rejeitada pela osmose.

A unidade de Peso da Régua destaca-se como a menos eficiente, registando as poupanças mais substanciais em termos proporcionais: aproximadamente 3100 m³ de água e 49 500 kWh de energia por ano, o que evidencia considerável seu elevado potencial de melhoria. Da mesma forma, a clínica do CMDR apresenta poupanças significativas em ambos os parâmetros, com valores de 1885 m³/ano de água e 37 574 kWh/ano de energia, o que ilustra o seu perfil de eficiência moderado.

Em conjunto, as clínicas consideradas sugerem um potencial total anual de poupança superior a 22 500 m³ de água e 450 000 kWh de energia, comprovando assim a eficácia das intervenções tecnológicas estudadas e demonstrando o impacto que a sua aplicação generalizada teria na eficácia ambiental dos centros de diálise. Com base nestes resultados, a Figura 36 fornece detalhes comparativos das poupanças por cada clínica, permitindo assim uma validação visual.

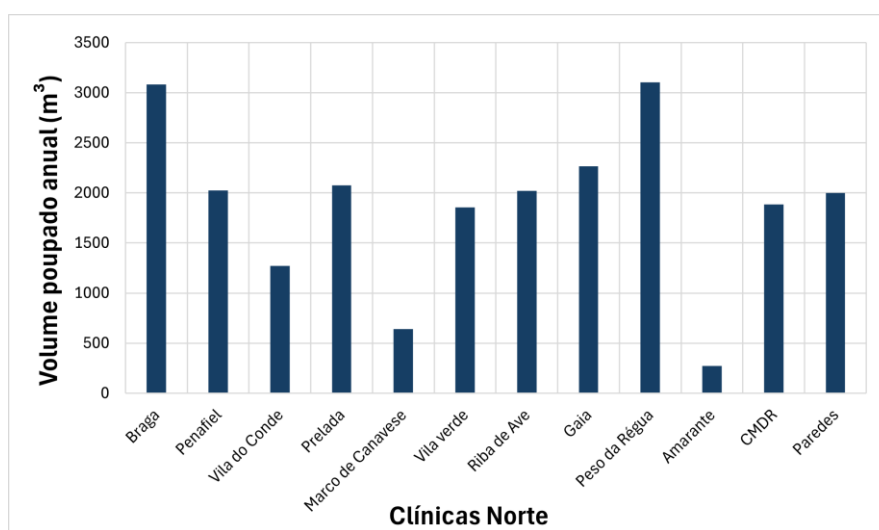


Figura 36 – Poupanças hídricas anuais nas clínicas da região Norte.

O efeito da poupança nas unidades de Gaia, Braga e Penafiel destaca-se devido à sua dimensão e carga operacional. As clínicas da Prelada e Peso da Régua evidenciam-se por apresentarem consumos pré-implementação desproporcionais em relação à atividade das unidades, pelo que são as clínicas não influenciadas pelo número de tratamentos com maior margem de melhoria. As diferenças encontradas nas restantes clínicas refletem apenas diferenças no número anual de tratamentos e nas respetivas configurações técnicas específicas de cada estabelecimento, garantindo assim a consistência entre os resultados da simulação e os perfis de consumo reais.

A Figura 37 representa o desempenho energético simulado, onde as clínicas de Gaia, Braga e Penafiel se destacam por apresentarem as maiores reduções absolutas. Por outro lado, as clínicas de Vila do Conde e Paredes não registaram melhorias, uma vez que já possuíam sistemas fotovoltaicos. De uma forma geral, a distribuição continua relacionada com as dimensões das clínicas, confirmando assim a aplicabilidade da extrapolação utilizada.

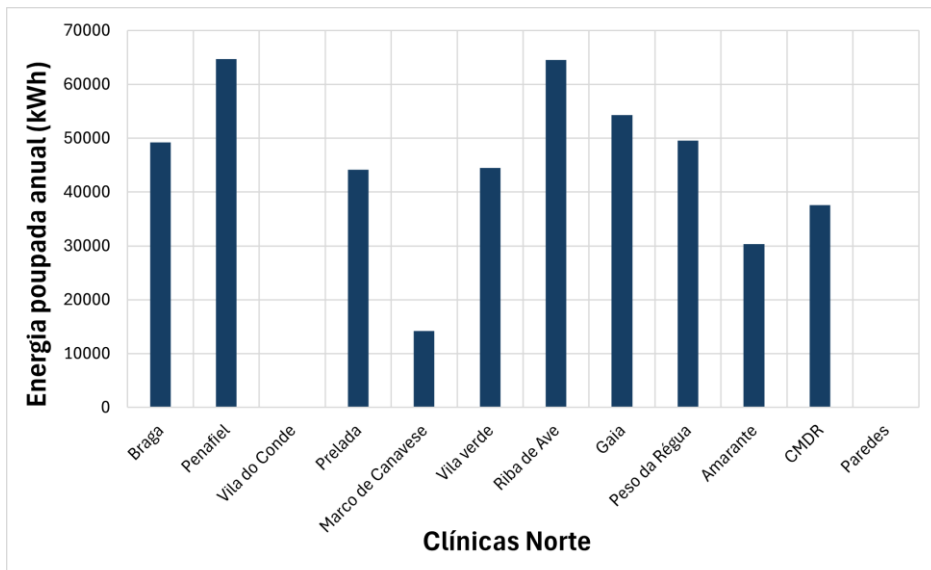


Figura 37 – Poupanças energéticas anuais nas clínicas da região Norte.

Com os valores médios dos consumos hídricos e energéticos reais por tratamento e das respetivas reduções simuladas para cada parâmetro, foi possível fazer comparações entre os valores reais e simulados e, portanto, foi possível avaliar a dimensão e a consistência das melhorias projetadas nas diferentes unidades. A Tabela 13 resume os dados obtidos.

Tabela 13- Consumos hídricos e energéticos, reais e simulados, e respetivas reduções percentuais.

Clínica	Consumo hídrico real (L/trat)	Consumo hídrico simulado (L/trat)	Redução hídrica (%)	Consumo energético real (kWh/trat)	Consumo energético simulado (kWh/trat)	Redução energética (%)
Braga	473,02	277,12	41,4	8,84	5,71	35,4
Penafiel	375,80	245,20	34,7	11,44	7,27	36,4
Vila do Conde	362,76	315,66	13,0	6,08	6,08	0
Prelada	484,24	288,34	40,4	11,19	7,02	37,3
Marco de Canaveses	378,66	331,56	12,4	3,57	2,53	29,1
Vila Verde	429,42	298,82	30,4	9,92	6,79	31,6
Riba de Ave	446,36	315,76	29,2	11,61	7,44	35,9
Gaia	424,11	293,51	30,8	9,85	6,72	31,8
Peso da Régua	964,34	637,74	33,9	13,99	8,78	37,2
Amarante	376,78	329,68	12,5	22,11	16,9	23,6
CMDR	626,73	365,43	41,7	15,21	10,0	34,2
Paredes	407,18	276,58	32,1	5,36	5,36	0
Média			29,4	Média		33,2

Assim, as reduções percentuais no consumo de água e energia obtidas com a simulação permitem uma avaliação geral da eficácia das clínicas com medidas de sustentabilidade aplicadas. Em resumo, o consumo de água e de energia foi reduzido, em média, 29 % e 33 %, respetivamente, o que indica a eficiência do modelo de extrapolação aplicado.

É possível observar que clínicas maiores e com cargas operacionais superiores, como Braga, Prelada, Penafiel e Gaia, destacam-se por apresentarem taxas de redução elevadas, com percentagens entre 30 % e 41 %, em ambas as áreas. Este destaque pode ser explicado nomeadamente por dois fatores, o número mais elevado de tratamentos e níveis preliminares de eficiência mais baixos, o que resulta num maior potencial de melhoria quando as medidas são implementadas de uma forma acumulativa.

Individualmente, no entanto, unidades menores ou que já possuem alguma tecnologia sustentável, como Marco de Canaveses e Amarante, registam uma poupança de água inferior a 15 % e reduções de 23 % a 29 % no consumo de eletricidade. Nestes casos, a existência prévia de, no caso, sistemas de osmose térmica limita o potencial de ganhos adicionais, uma vez que se trata da medida que possibilita uma maior redução dos consumos.

As clínicas com sistemas fotovoltaicos instalados - Vila do Conde e Paredes - não apresentam melhorias energéticas, funcionando como referências tecnológicas do modelo. Ainda assim, mantêm reduções moderadas no consumo de água, refletindo o efeito complementar das medidas aplicadas à componente hídrica,

Em contrapartida, as clínicas CMDR e Peso da Régua representam o máximo potencial de eficiência disponível: ambas registaram reduções superiores a 34 % no consumo de água e energia, o que representa alguns dos impactos mais acentuados da extrapolação. Estes números validam o argumento de que as clínicas com um consumo base elevado e sistemas antiquados têm mais hipóteses de otimizar a sua eficiência através da implementação de medidas de sustentabilidade.

A Figura 38 demonstra a distribuição da redução percentual do consumo de água das clínicas. As clínicas de Braga, Prelada e CMDR destacam-se com reduções de cerca de 40 % ou superiores, seguidas por Peso da Régua, Gaia e Penafiel, com reduções de 30-35 %. As clínicas de Marco de Canaveses, Amarante e Vila do Conde apresentaram os ganhos mínimos, o que está de acordo com a existência prévia de medidas de eficiência hídrica. A variação observada retrata com rigor a relação entre o consumo inicial e a margem de otimização.

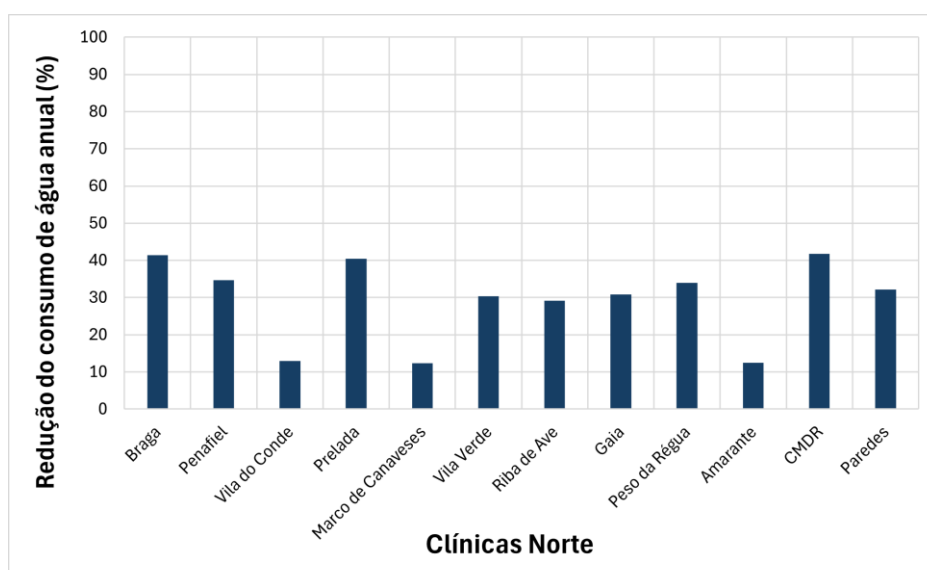


Figura 38 – Redução percentual do consumo hídrico nas clínicas da região Norte.

A Figura 39 apresenta tendências de consumo semelhantes às dos consumos de água, embora com valores um pouco menos dispersos. Clínicas como Prelada, Peso da Régua e Penafiel apresentaram quedas superiores a 36 %, enquanto clínicas como Braga, Penafiel, Riba de Ave e Vila Verde alcançaram quedas entre 30 % e 35 % dos níveis de consumo. Os centros de Vila do Conde e Paredes, já com painéis fotovoltaicos implementados, não apresentaram qualquer diminuição, como esperado. Por fim, este padrão encontrado nos dados salienta que as melhorias na eficiência energética dependem não só da escala das instalações, mas também do contexto tecnológico anterior e do perfil de funcionamento dos equipamentos.

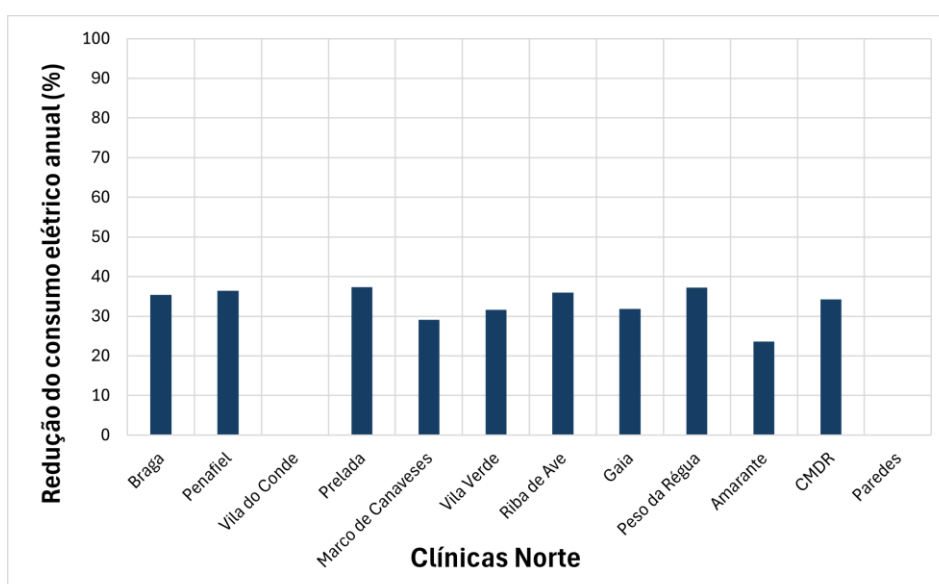


Figura 39 – Redução percentual do consumo energético nas clínicas da região Norte.

5.2.3 Comparação com Literatura

A análise dos resultados obtidos demonstra que o modelo de extrapolação utilizado foi bem sucedido, tendo apresentado, em média, reduções de 29 % no consumo de água e de 33 % no consumo de energia por tratamento. Além disso, os valores médios de poupança hídrica e energética obtidos (22502 m³ e 453040 kWh por ano, respetivamente) refletem o impacto conjunto das diferentes intervenções analisadas. Ao longo deste subcapítulo, estes parâmetros de desempenho são comparados com os valores obtidos na literatura.

Os resultados apresentados mostram uma correlação significativa com a literatura, tanto em termos de magnitude como de tendências. Em particular, no que diz respeito ao consumo de água, a variação máxima foi registada em Peso da Régua (326 L/tratamento), enquanto a menor foi registada em Marco, Vila do Conde e Amarante (47 L/tratamento). Os resultados são idênticos aos relatados por *Abarkan et al.* (2021), que relataram uma poupança de quase 250 L por sessão através da reutilização da rejeição da osmose inversa, sendo superiores aos 48 L por sessão relatados por *Rydzewska-Rosłowska et al.* (2024) ao reduzir o fluxo de dialisante. A variação percentual média registada neste estudo (29 %) é inferior à relatada por *Bendine et al.* (2020) (52 %), uma diferença que pode ser explicada devido ao desenho longitudinal do estudo destes autores, que se estendeu por 13 anos consecutivos de uso ininterrupto de medidas de eficiência, em comparação com os breves períodos estudados nesta pesquisa.

A análise comparativa de clínicas com diferentes dimensões mostra um padrão semelhante ao relatado por *Jiménez et al.* (2025). As unidades maiores, com níveis de operação superiores, consomem 378 L/tratamento, em comparação com os 543 L/tratamento para o consumo de instalações menores, com uma diferença de aproximadamente 30 %. Da mesma forma, verificou-se neste estudo que a clínica de Braga registou um consumo médio de 473 L/tratamento, bem abaixo dos 964 L/tratamento da clínica de Peso da Régua, com uma diferença de até 51 %. Esta diferença sustenta a afirmação de que o tamanho, bem como os níveis de eficiência operacional, são fatores decisivos para otimizar os níveis de consumo de água.

No que diz respeito ao consumo de energia, as discrepâncias foram acentuadas, com reduções que variaram entre 1,04 e 5,21 kWh por tratamento. As reduções mais substanciais foram registadas em Peso da Régua, Amarante e CMDR, enquanto Marco apresentou a redução menos significativa. Os resultados corroboram, novamente, os números relatados por *Bendine*

et al. (2020), que observaram um declínio de 23,1 para 16,3 kWh por tratamento, o que corresponde a aproximadamente 29,6 %. No caso do consumo energético, o fator longitudinal do estudo de *Bendine et al. (2020)* não teve tanto impacto, tendo sido obtido um valor médio de 33,2 % de redução energética, semelhante ao valor obtido na pesquisa destes autores.

De uma forma análoga, foi encontrado um padrão em relação ao consumo de energia. No estudo de *Jiménez et al. (2025)*, as clínicas maiores tinham um consumo de 10,7 kWh/tratamento, em comparação com 14,8 kWh/tratamento nas unidades pequenas, uma diferença de aproximadamente 28 %. Num padrão semelhante, a clínica de Braga apresentou 8,84 kWh/tratamento, enquanto a de Peso da Régua apresentou um consumo de 13,99 kWh/tratamento, uma diferença de 37 %. Assim verificou-se o mesmo padrão de eficiência revelado por Jiménez: clínicas com maiores capacidades e intensidades possuem menor consumo específico de água e energia por tratamento.

Sintetizando, os resultados obtidos confirmam a coerência do modelo em relação à literatura, mostrando que as dimensões das clínicas, bem como o desempenho operacional, afetam diretamente o consumo de água e energia e comprovando os ganhos efetivos com a aplicação de medidas sustentáveis nas clínicas.

6 Conclusões e Perspetivas Futuras

Neste capítulo é apresentado um resumo dos principais resultados obtidos, bem como as conclusões decorrentes da pesquisa realizada. São consideradas as medidas de sustentabilidade aplicadas nas clínicas de diálise e, para além disso, são apresentadas as observações finais sobre a eficiência hídrica e energética com base no estudo. Além disso, serão apresentadas também perspetivas futuras de trabalhos que possam complementar o estudo realizado ao longo desta dissertação.

6.1 Conclusão

A hemodiálise é um tratamento importante para os doentes com doença renal crónica (DRC), na medida em que garante a purificação do sangue e, conseqüentemente, a manutenção da homeostasia corporal. No entanto, trata-se de um procedimento caracterizado por um consumo elevado de recursos hídricos e energéticos. O aumento da prevalência da DRC e o resultante aumento do número de clínicas de diálise motivam a necessidade de implementação de estratégias que integrem fiabilidade técnica, segurança clínica e eficiência ambiental. O presente trabalho cumpre esses requisitos ao analisar a eficiência hídrica e energética de várias clínicas de diálise da Diaverum e ao descrever tecnologias e soluções operacionais aplicáveis a outras unidades de diálise.

A análise efetuada antes e após a implementação das medidas demonstrou que, de uma forma geral, para todas as medidas de sustentabilidade, os consumos de água e energia diminuíram. Ficou assim comprovada a capacidade efetiva das soluções, que apresentaram um bom desempenho no controlo de excedentes hídricos e energéticos. No consumo de energia, foram observadas algumas variações sazonais ao longo do ano, com valores mais elevados no inverno

devido ao aumento das necessidades de aquecimento. No verão foram detetadas ligeiras reduções, decorrentes da menor exigência térmica e, no caso das clínicas com painéis solares, devido ao aumento da radiação solar. Contudo, estas variações não foram significativas, pelo que as leituras após a instalação dos painéis fotovoltaicos permaneceram continuamente inferiores à fase pré-instalação (o mesmo se verificou com o consumo de água), indicando a eficácia das medidas em diferentes ambientes operacionais.

A osmose térmica apresentou a maior redução no consumo de água, 208,07 L/tratamento (42,2 %) na clínica de Aveiro. Na clínica de Vila do Conde, houve também uma redução, 56,12 L/tratamento (12,9 %), embora menos acentuada. Este valor mais reduzido é explicado por um dos fatores que pode influenciar os consumos, o índice de ocupação. Coincidentemente com o arranque da osmose térmica em Vila do Conde, o índice de ocupação da clínica aumentou, o que provocou uma atenuação do efeito da melhoria.

O sistema *Testomat* e o reaproveitamento da água rejeitada pela osmose inversa também obtiveram bons resultados, mas não tão expressivos. O *Testomat* reduziu o consumo de água em 69,08 L por tratamento (19,8 %) através da gestão da regeneração dos descalcificadores, o que evitou ciclos desnecessários e permitiu uma melhor utilização da água. O reaproveitamento da água rejeitada pela osmose alcançou uma poupança de 48,82 L por tratamento (15,9 %). Esta medida apresenta uma forte tendência de redução do desperdício de água, ainda que os valores obtidos sejam reduzidos devido ao período de monitorização mais curto.

A instalação de painéis fotovoltaicos reduziu o consumo de energia entre 33,1 % a 48,2 %, o que equivale a uma poupança de 3,18 a 5,21 kWh por tratamento nas clínicas com esta medida implementada. Estes resultados demonstram a viabilidade do sistema de auto-produção de eletricidade e da redução da dependência da rede elétrica pública, proporcionando, conseqüentemente, benefícios diretos para a autossuficiência energética das clínicas.

Ao analisar os resultados da extrapolação nas clínicas da região Norte previu-se que o consumo de água diminuiria em média 29 % e o consumo de energia 33 % por tratamento. Assim, seriam economizados aproximadamente 22500 m³ de água e 450000 kWh de energia por ano. As clínicas de maior dimensão, com maior consumo, apresentaram o maior potencial geral de poupança, uma vez que os ganhos de eficiência são proporcionalmente maiores para volumes de consumo mais elevados. As clínicas de menor dimensões apresentaram percentagens

menores de redução, mas um desempenho mais consistente com a implementação das mudanças.

A comparação com pesquisas já existentes permitiu concluir que o procedimento de extrapolação adotado é adequado e que os resultados correspondem à tendência observada na literatura internacional. As reduções no consumo de água e energia são da mesma ordem de magnitude que as apresentadas por outros autores, o que reforça a confiança nos dados apresentados. Também foi observada uma tendência semelhante de eficiência relacionada ao tamanho das clínicas, onde unidades maiores e com mais atividade apresentam menores consumos. As diferenças percentuais inferiores apresentadas nas comparações resultam dos períodos de monitorização mais curtos dos sistemas de *Testomat* e do reaproveitamento de água da rejeição da osmose.

Em suma, o presente trabalho demonstra que é tecnologicamente viável e clinicamente seguro melhorar o desempenho ambiental das clínicas de diálise, obtendo-se uma eficiência significativa em termos de consumo de água e energia. A abordagem utilizada para a normalização e extrapolação dos dados mostrou ser uma ferramenta fiável e abrangente, para avaliar o impacto de diferentes intervenções e conceber modelos sustentáveis para grupos de clínicas de diferentes dimensões.

6.2 Perspetivas Futuras

No futuro, é importante avançar no sentido de continuar a melhorar a sustentabilidade e, para tal, o desenvolvimento de trabalhos semelhantes com novos indicadores ambientais, como a pegada de carbono e a produção de resíduos, seria um passo nesse sentido. Em conjunto com a análise dos consumos de água e energia, estas métricas possibilitariam uma compreensão mais abrangente e comparável do impacto ambiental da diálise em diferentes clínicas e situações.

Adicionalmente, seria crucial alargar o âmbito do estudo, incluindo um número superior de clínicas e utilizar períodos de análise mais longos, de modo a obter resultados mais consolidados e avaliar a estabilidade dos dados a longo prazo. Esta abordagem poderia também auxiliar no desenvolvimento de planos de sustentabilidade internos eficazes e na criação de estruturas de referência para o setor da diálise em Portugal.

Por último, a aplicação de ferramentas de monitorização em tempo real e de modelos preditivos baseados em inteligência artificial permitiria auxiliar numa gestão de recursos mais eficiente, a deteção de anomalias nos padrões de utilização e a adoção de medidas de manutenção preventiva. Estas tecnologias representam o próximo passo para uma diálise inteligente, produtiva e ecológica, onde a engenharia e a saúde se complementam para melhorar a sustentabilidade e a qualidade dos cuidados de saúde.

Referências

- Abarkan, A., Grimi, N., Métayer, H., Sqalli Houssaini, T., & Legallais, C. (2021). Electrodialysis Can Lower the Environmental Impact of Hemodialysis. *Membranes*, 12(1), 45. <https://doi.org/10.3390/membranes12010045>
- Actualway. (2024). *Cadeira de Terapia - Serie II*.
- Alcalde-Bezhold, G., Alcázar-Arroyo, R., Angoso-de-Guzmán, M., Arenas, M. D., Arias-Guillén, M., Arribas-Cobo, P., Díaz-Gómez, J. M., García-Maset, R., González-Parra, E., Hernández-Marrero, D., Herrero-Calvo, J. A., Maduell, F., Molina, P., Molina-Núñez, M., Otero-González, A., Pascual, J., Pereira-García, M., Pérez-García, R., Dolores del Pino y Pino, M., ... de Sequera-Ortiz, P. (2021). Hemodialysis Centers Guide 2020. *Nefrología (English Edition)*, 41(S1), 1–77. [https://doi.org/10.1016/S2013-2514\(22\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S2013-2514(22)00042-6)
- Bendine, G., Autin, F., Fabre, B., Bardin, O., Rabasco, F., Cabanel, J.-M., & Chazot, C. (2020). Haemodialysis therapy and sustainable growth: a corporate experience in France. *Nephrology, Dialysis, Transplantation : Official Publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association*, 35(12), 2154–2160. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfz284>
- Bolasco, P. (2020). The production of on-line dialysis water for extracorporeal dialysis: proposals for an increased safety upgrade: a viewpoint. *Journal of Nephrology*, 33(3), 405–415. <https://doi.org/10.1007/s40620-019-00667-2>
- Borg, R., Carlson, N., Søndergaard, J., & Persson, F. (2023). The Growing Challenge of Chronic Kidney Disease: An Overview of Current Knowledge. *International Journal of Nephrology*, 2023, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2023/9609266>
- Canaud, B., Davenport, A., Leray-Moragues, H., Morena-Carrere, M., Cristol, J. P., Kooman, J., & Kotanko, P. (2024). Digital Health Support: Current Status and Future Development for Enhancing Dialysis Patient Care and Empowering Patients. *Toxins*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/toxins16050211>
- Canaud, B., Gagel, A., Peters, A., Maierhofer, A., & Stuard, S. (2024). Does online high-volume hemodiafiltration offer greater efficiency and sustainability compared with high-flux hemodialysis? A detailed simulation analysis anchored in real-world data. *Clinical Kidney Journal*, 17(6). <https://doi.org/10.1093/ckj/sfae147>
- CARDIAC VASCULAR SENTRAL. (n.d.). *Arteriovenous Fistula (AVF)*. CARDIAC VASCULAR SENTRAL. <https://www.cvskl.com/arteriovenous-fistula/>
- Caskey, F. J., Procter, S., MacNeill, S. J., Wade, J., Taylor, J., Rooshenas, L., Liu, Y., Annaw, A., Alloway, K., Davenport, A., Power, A., Farrington, K., Mitra, S., Wheeler, D. C., Law, K., Lewis-White, H., Ben-Shlomo, Y., Hollingworth, W., Donovan, J., & Lane, J. A. (2022). The high-volume haemodiafiltration vs high-flux haemodialysis registry trial (H4RT): a multi-centre, unblinded, randomised, parallel-group, superiority study to compare the effectiveness and cost-effectiveness of high-volume haemodiafiltration and high-flux haemodialysis in people with kidney failure on maintenance dialysis using linkage to routine healthcare databases for outcomes. *Trials*, 23(1), 532. <https://doi.org/10.1186/s13063-022-06357-y>

- Charles, C., & Ferris, A. H. (2020). Chronic Kidney Disease. *Primary Care*, 47(4), 585–595. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2020.08.001>
- Cheng, L., Hu, N., Song, D., & Chen, Y. (2024). Mortality of Peritoneal Dialysis versus Hemodialysis in Older Adults: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Gerontology*, 70(5), 461–478. <https://doi.org/10.1159/000536648>
- Comité Europeu de Normalização. (2017). *EN 13306:2017 Maintenance - Maintenance terminology*.
- Daugirdas, J. T. (2025). Kinetic Modeling Programs for Hemodialysis Adequacy Focusing on Urea, Creatinine, Phosphate, and Beta-2-Microglobulin. *Seminars in Dialysis*, 38(3), 161–165. <https://doi.org/10.1111/sdi.13252>
- Diaverum. (2025a). *Diaverum destinations*. Diaverum. <https://d.holiday/en/destinations>
- Diaverum. (2025b). *Doença renal crónica*. Diaverum. <https://www.diaverum.pt/pt/cuidados-renais/doenca-renal-cronica/>
- Diaverum. (2025c). *História*. Diaverum. <https://www.diaverum.pt/pt/diaverum-portugal/sobre-a-diaverum-em-portugal/historia/>
- Diaverum. (2025d). *Our history*. Diaverum. <https://www.diaverum.com/en/about-us/our-history/>
- Durham Nephrology. (n.d.). *Hemodialysis vs Peritoneal Dialysis: Which is Right for You?* Durham Nephrology. Retrieved August 23, 2025, from <https://www.durhamnephrology.com/hemodialysis-vs-peritoneal-dialysis/>
- Huarong, L., Chaoying, C., Juan, T., Tiantian, L., & Nannan, W. (2025). Effects of reduced blood pressure dipping on the progression of chronic kidney disease in children. *BMC Pediatrics*, 25(1), 627. <https://doi.org/10.1186/s12887-025-05967-0>
- International Electrotechnical Commission. (2025). *INTERNATIONAL STANDARD Medical electrical equipment-Part 2-16: Particular requirements for the basic safety and essential performance of haemodialysis, haemodiafiltration and haemofiltration equipment*. www.iec.ch
- International Organization for Standardization. (2019). *Preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies Part 2: Water treatment equipment for haemodialysis applications and related therapies*. www.iso.org
- International Organization for Standardization. (2024a). *Preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies Part 1: General requirements*. www.iso.org
- International Organization for Standardization. (2024b). *Preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies Part 3: Water for haemodialysis and related therapies*. www.iso.org
- International Organization for Standardization. (2024c). *Preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies Part 4: Concentrates for haemodialysis and related therapies*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/022040f5-61c6-4c40-b61a-93ccdd68666e/iso-fdis-23500-4>
- International Organization for Standardization. (2024d). *Preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies Part 5: Quality of dialysis fluid for haemodialysis and related therapies*. www.iso.org/patents.

- Jiménez, M. D. A., Audije-Gil, J., Martínez, R., Martín Vaquero, N., Gómez, M., Portillo, J., Pereda, G., Gascueña, D. H., Duane, B., Sanjuan, M., Martín, J. L. F., Dapena, F., Ortiz, A., & Arias, M. (2025). How to improve the environmental impact in haemodialysis: small actions, big changes. *Clinical Kidney Journal*, *18*(2). <https://doi.org/10.1093/ckj/sfae407>
- Jones, O. (2025, July 17). *The Kidneys*. TeachMe Anatomy. <https://teachmeanatomy.info/abdomen/viscera/kidney/>
- K., P., D., M., Bhargava, S. K., Tardio, J., & S., S. (2014). Economical treatment of reverse osmosis reject of textile industry effluent by electro dialysis–evaporation integrated process. *Desalination*, *333*(1), 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.11.020>
- Kavurmaci, M. (2023). Hemodialysis Vascular Access and Care. *Yeni Üroloji Dergisi*, *18*(3), 268–274. <https://doi.org/10.33719/yud.2023;18-3-1269349>
- Kovesdy, C. P. (2022). Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022. *Kidney International Supplements*, *12*(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.kisu.2021.11.003>
- Linhares, R., & Lourenço do Carmo, R. (2023, October 30). *Sistema excretor*. Kenhub. <https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/sistema-excretor>
- Locatelli, F., Karaboyas, A., Pisoni, R. L., Robinson, B. M., Fort, J., Vanholder, R., Rayner, H. C., Kleophas, W., Jacobson, S. H., Combe, C., Port, F. K., & Tentori, F. (2018). Mortality risk in patients on hemodiafiltration versus hemodialysis: a ‘real-world’ comparison from the DOPPS. *Nephrology Dialysis Transplantation*, *33*(4), 683–689. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfx277>
- Magalhães, R. (2012). *Estudo e Análise de Procedimentos de Manutenção Industrial*. Universidade do Minho.
- Manchadi, O., Ben-Bouazza, F.-E., & Jioudi, B. (2023). Predictive Maintenance in Healthcare System: A Survey. *IEEE Access*, *11*, 61313–61330. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3287490>
- Martins, A., Francisco, D., Azinheira, J., Laranjinha, I., Matias, P., & Gonçalves, M. (2023). Incremental Hemodialysis: A Road to a Greener and Personalized Nephrology. *Portuguese Journal of Nephrology & Hypertension*, *37*(3), 139–142. <https://doi.org/10.32932/pjnh.2023.08.256>
- Mitra, S., & Mitsides, N. (2016). Technical Aspects of Hemodialysis. In *Core Concepts in Dialysis and Continuous Therapies* (pp. 15–26). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7657-4_2
- Murcutt, G., Hillson, R., Goodlad, C., & Davenport, A. (2024). Reducing the carbon footprint for a 30-bed haemodialysis unit by changing the delivery of acid concentrate supplied by individual 5 L containers to a central delivery system. *Journal of Nephrology*, *37*(7), 1949–1955. <https://doi.org/10.1007/s40620-024-02073-9>
- Nagai, K., & Itsubo, N. (2022). Environmental Impact of Care for End-stage Kidney Disease on the Earth and Humans. *JMA Journal*, *5*(1), 109–113. <https://doi.org/10.31662/jmaj.2021-0105>
- National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. (2018, June). *Your Kidneys & How They Work*. National Institutes of Health. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/kidney-disease/kidneys-how-they-work>

- Naxlex. (n.d.). *A nurse is caring for a client who has a new arteriovenous (AV) graft*. Naxlex. <https://www.naxlex.com/nursing/question/a-nurse-is-caring-for-a-client-who-has-a-new-arteriovenous-av-graft>
- NIKKISO. (n.d.). *Hemodialysis Equipment DBB-EXA*. NIKKISO. <https://webmedical.nikkiso.com/dialysis/equipment/2493>
- NIKKISO. (2021a). *Instruções de operação DBB-EXA*.
- NIKKISO. (2021b). *Technical Manual DBB-EXA*.
- NIPRO. (n.d.-a). *DIALISADOR ELISIO 21L S/ TAMPA ROSQUEÁVEL*. NIPRO. <https://www.niprobrasil.com.br/produto/dialyzer-elisio-21l-w-o-rem-cap/>
- NIPRO. (n.d.-b). *SURDIAL TM X SYSTEM FOR HD-HDF-HF*. https://www.nipro-group.com/sites/default/files/2019-12/Surdial%20X%20-%20EN%20-%2013Dec2018%20-%20New%20Layout%20-%20Approved_Original_397.pdf
- NIPRO. (n.d.-c). *SURDIALX*. NIPRO. <https://www.nipro-group.com/en/our-offer/products-services/surdialtm-x>
- NKF Patient Education Team. (2023, January 2). *Dialysis*. National Kidney Foundation. <https://www.kidney.org/kidney-topics/dialysis>
- NKF Patient Education Team. (2024, October 15). *Kidney Function*. National Kidney Foundation. <https://www.kidney.org/kidney-topics/kidney-function>
- Pérez-García, R., García Maset, R., Gonzalez Parra, E., Solozábal Campos, C., Ramírez Chamond, R., Martín-Rabadán, P., Sobrino Pérez, P. E., Gallego Pereira, O., Dominguez, J., de la Cueva Matute, E., & Ferllen, R. (2016). Guía de gestión de calidad del líquido de diálisis (LD) (segunda edición, 2015). *Nefrología*, 36(3), e1–e52. <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2016.01.003>
- Piccoli, G. B., Cupisti, A., Aucella, F., Regolisti, G., Lomonte, C., Ferraresi, M., Claudia, D., Ferraresi, C., Russo, R., La Milia, V., Covella, B., Rossi, L., Chatrenet, A., Cabiddu, G., Brunori, G., & On the Behalf of Conservative treatment, Physical activity and Peritoneal dialysis project groups of the Italian Society of Nephrology. (2020). Green nephrology and eco-dialysis: a position statement by the Italian Society of Nephrology. *Journal of Nephrology*, 33(4), 681–698. <https://doi.org/10.1007/s40620-020-00734-z>
- Raharjo, Y., Zainol Abidin, M. N., Ismail, A. F., Fahmi, M. Z., Saiful, Elma, M., Santoso, D., Haula', H., & Habibi, A. R. (2022). Dialysis Membranes for Acute Kidney Injury. *Membranes*, 12(3), 325. <https://doi.org/10.3390/membranes12030325>
- Raofi, S., Pashazadeh Kan, F., Rafiei, S., Hoseinipalangi, Z., Rezaei, S., Ahmadi, S., Masoumi, M., Noorani Mejareh, Z., Roohravan Benis, M., Sharifi, A., Shabaninejad, H., Kiaee, Z. M., & Ghashghaee, A. (2023). Hemodialysis and peritoneal dialysis-health-related quality of life: systematic review plus meta-analysis. *BMJ Supportive & Palliative Care*, 13(4), 365–373. <https://doi.org/10.1136/bmjspcare-2021-003182>
- Ronco, C., & Clark, W. R. (2018). Haemodialysis membranes. *Nature Reviews. Nephrology*, 14(6), 394–410. <https://doi.org/10.1038/s41581-018-0002-x>
- Ruiz, A. G., Viveros Gonzalez, M. A., Flores Macias, G. J., & Rodriguez Sánchez, J. E. (2024). WCN24-2595 DELAY IN RENAL SUBSTITUTION IN THE PATIENT WITH DIALYTIC EMERGENCY AND ITS ASSOCIATION IN MORBIDITY AND MORTALITY. *Kidney International Reports*, 9(4), S320. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2024.02.677>

- Rydzewska-Rosołowska, A., Głowińska, I., Kakareko, K., Pietruczuk, A., & Hryszko, T. (2024). How low can we go with the dialysate flow? A retrospective study on the safety and adequacy of a water-saving dialysis prescription. *Clinical Kidney Journal*, 17(8). <https://doi.org/10.1093/ckj/sfae238>
- Santoro, A., & Zucchelli, A. (2024). Giornale Italiano di Nefrologia Terapia dialitica Metodiche convettive verso metodiche diffusive: superiorità definita? *Giornale Italiano di Nefrologia*. <https://doi.org/10.69097/41-s83-2024-13>
- Snisar, L., & Liksunova, L. (2018). Протокол контролю хімічної та бактеріологічної безпеки води для гемодіалізу/гемодіафільтрації. *Ukrainian Journal of Nephrology and Dialysis*, 3(59), 3–9. [https://doi.org/10.31450/ukrjnd.3\(59\).2018.01](https://doi.org/10.31450/ukrjnd.3(59).2018.01)
- Solomon, D., Arumugam, V., Sakthirajan, R., Lamech, T. M., Dineshkumar, T., Vathsalyan, P., Senthilkumaran, G., Krishna, R., Shaji, S., & Gopalakrishnan, N. (2024). A Pilot Study on the Safety and Adequacy of a Novel Ecofriendly Hemodialysis Prescription—Green Nephrology. *Kidney International Reports*, 9(5), 1496–1503. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2024.02.014>
- SurdialX Training Series, NIPRO. <https://www.nipro-group.com/en/inspire/surdialx-training-series>
- Tarrass, F., Benjelloun, M., & Piccoli, G. B. (2024). Hemodialysis water reuse within a circular economy approach. What can we add to current knowledge? A point of view. *Journal of Nephrology*, 37(7), 1801–1805. <https://doi.org/10.1007/s40620-024-01989-6>
- Tennebar, C. (n.d.). *What are Dialysis and Fistula/Graft Dec clotting and Interventions?* Association for Radiologic & Imaging Nursing. <https://www.arinursing.org/news-events/inside-view-newsletter/inside-view-newsletter-volume-23-issue-5/what-are-dialysis-and-fistula-graft-declotting-and-interventions/>
- Uhlir, F., & Fridolin, I. (2023). Optical Online Monitoring of Uremic Toxins beyond Urea. In *Updates on Hemodialysis*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110080>
- União Europeia. (2017). *REGULAMENTO (UE) 2017/745 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO*.
- União Europeia. (2023). *REGULAMENTO (UE) 2023/607 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO*.
- União Europeia. (2024). *REGULAMENTO (UE) 2024/1860 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO*. <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/745/oj>
- University of Maryland Medical Center. (n.d.). *Types of Dialysis*. University of Maryland Medical Center. Retrieved August 23, 2025, from <https://www.umms.org/ummc/health-services/kidney/dialysis/types>
- Viecelli, A. K., & Lok, C. E. (2019). Hemodialysis vascular access in the elderly-getting it right. *Kidney International*, 95(1), 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2018.09.016>
- Warady, B. A., Alexander, S. R., & Schaefer, F. (2021). *Pediatric Dialysis* (B. A. Warady, S. R. Alexander, & F. Schaefer, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66861-7>
- Wieliczko, M., Zawierucha, J., Covic, A., Prystacki, T., Marcinkowski, W., & Małyszko, J. (2020). Eco-dialysis: fashion or necessity. *International Urology and Nephrology*, 52(3), 519–523. <https://doi.org/10.1007/s11255-020-02393-2>

World Health Organization. (2020). *WHO GUIDANCE FOR CLIMATE-RESILIENT AND ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE HEALTH CARE FACILITIES*.

Zoccali, C., Barraclough, K., Eckelman, M., Amenos, A. C., Germond-Duret, C., Pecoits-Filho, R., Sanchez, J. J. G., Selvarajah, V., Hubbert, L., & Nicholson, L. (2023). #2695 THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF CHRONIC KIDNEY DISEASE INTERNATIONALLY: RESULTS OF A LIFE CYCLE ASSESSMENT. *Nephrology Dialysis Transplantation*, *38*(Supplement_1). https://doi.org/10.1093/ndt/gfad063c_2695