



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Avaliação de alternativas de reuso da água descartada em processo de osmose inversa em uma clínica de hemodiálise de Cachoeirinha

Autor: Joana Chiodi Mocelin

Orientadora: Liliana Amaral Féris

Coorientadora: Júlia Toffoli de Oliveira

Porto Alegre, abril de 2023.

Autor: Joana Chiodi Mocelin

Avaliação de alternativas de reuso da água descartada em processo de osmose inversa em uma clínica de hemodiálise de Cachoeirinha

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química

Orientadora: Líliliana Amaral Féris
Coorientadora: Júlia Toffoli de Oliveira

Banca Examinadora:

Doutora Caroline Borges Agustini, UFRGS

Doutor Carlos Eduardo Pereira Siqueira Campos, BRASKEM

Porto Alegre

2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mariza e Adalberto, por apoiarem toda a minha trajetória e por não medirem esforços para que meu sonho de graduação fosse possível. Também por me ouvirem sempre que necessário, por amenizarem minhas angústias e pelo carinho e amor imensuráveis.

À Clínica Nefrocor, principalmente à Ângela e ao João Pedro, por abrirem as portas da Clínica e possibilitarem a realização do trabalho, além de todo estímulo e auxílio na elaboração dele. Por tirarem todas as dúvidas durante os finais de semana e por serem uma eterna caixinha de ideias para a realização do TCC.

À UFRGS e ao Departamento de Engenharia Química, pela estrutura, oportunidades e conhecimentos fornecidos aos longos dos anos. Também à Profa. orientadora Liliana e à coorientadora Júlia por acolherem esse tema e me guiarem durante seu desenvolvimento.

À BRASKEM, por acreditar e confiar em mim ao me dar oportunidade de estágio e de trabalho, colaborando com minha formação, em especial ao time da Logística.

Por fim, ao meu colega Henrique Antônio por ser minha dupla durante todo o curso, e por ser meu cúmplice em todos os desesperos e vitórias ao longo desses 6 anos.

RESUMO

A água é um bem natural que está cada vez mais escasso, e, nesse aspecto, a reutilização dele pode ajudar na sua conservação. Um dos processos que utiliza e descarta grandes quantidades de água é o de osmose inversa, aplicado no tratamento de água para pacientes de hemodiálise. A água, após o tratamento convencional aplicado na estação de tratamento de água passa pelo equipamento de osmose inversa para purificação. Há produção da água filtrada que é utilizada em pacientes, e de uma corrente de água concentrada em sais minerais, a qual é descartada na rede de esgoto. O presente estudo visa avaliar o potencial de reutilização da água de rejeito que é descartada na rede de esgoto pelo processo de osmose inversa de uma Clínica de Hemodiálise situada em Cachoeirinha. Para isso, foi determinada a quantidade de água utilizada e descartada pela clínica e as características físico-químicas das amostras coletadas do rejeito. A metodologia envolveu a análise de composição química e caracterização do líquido coletado do equipamento de osmose inversa e o estudo de alternativas de uma forma de reuso considerando a realidade da clínica e as legislações ambientais vigentes no país. A metodologia de *Pugh* foi aplicada para definir o melhor destino para a água de rejeito. Como resultado, foi identificado que a clínica utiliza, em média, 719.000 litros de água por mês, e desses, 240.000 litros são descartados pela operação do processo de osmose inversa. Quanto à composição, as análises do rejeito mostraram que a água de rejeito possui níveis de cálcio, cloro, cobre, potássio, sulfato, zinco e sódio abaixo dos níveis especificados pela legislação para a água utilizada para sessões de hemodiálise. A água está sem coliformes, com nível de pH neutro, turbidez baixa e enquadra-se nos parâmetros de água utilizados pela clínica de tratamento de esgoto local como referência. Analisando os dados, conclui-se que a água de rejeito pode ser utilizada para reuso em fins menos nobres, como: descargas de banheiro, rega de pomares, cereais e outros cultivos. No presente estudo avaliaram-se os reusos de rega na agricultura no Hospital Padre Jeremias, de venda e doação para terceiros e de uso interno na própria Nefrocor. Dentre eles, o último foi determinado como a melhor opção devido aos seguintes fatores: redução para 81.600 litros descartados em média mensalmente, a possibilidade de economia de R\$ 3.421,22 ao mês, ao baixo tempo de implementação e ao rápido retorno de investimento. Desta forma o estudo realizado indica que é possível reutilizar a água de processo, minimizando os impactos causados pelo seu descarte, diminuindo o consumo de água potável para fins menos nobres e contribuindo para a conservação da água como recurso natural.

Palavras-chave: *água de hemodiálise, descarte de água, rejeito de osmose, desperdício hemodiálise*

ABSTRACT

Water is a natural resource that is becoming increasingly scarce, and in this aspect, its reuse can help in its conservation. One of the processes that uses and discards large amounts of water is reverse osmosis, applied in the treatment of water for hemodialysis patients. The water, after conventional treatment applied in the water treatment plant, passes through the reverse osmosis equipment for purification. There is production of filtered water that is used in patients, and a stream of water concentrated in mineral salts, which is discarded into the sewage system. This study aims to evaluate the potential for reuse of the wastewater that is discarded into the sewage system by the reverse osmosis process of a Hemodialysis Clinic located in Cachoeirinha. For this, the amount of water used and discarded by the clinic and the physicochemical characteristics of the collected reject samples were determined. The methodology involved the analysis of chemical composition and characterization of the liquid collected from the reverse osmosis equipment, and the study of alternatives for a reuse form considering the reality of the clinic and the environmental legislation in force in the country. The Pugh methodology was applied to define the best destination for the wastewater. As a result, it was identified that the clinic uses, on average, 719,000 liters of water per month, and of these, 240,000 liters are discarded by the operation of the reverse osmosis process. Regarding composition, the reject analyses showed that the wastewater has calcium, chlorine, copper, potassium, sulfate, zinc, and sodium levels below those specified by legislation for water used for hemodialysis sessions. The water is free of coliforms, with a neutral pH level, low turbidity, and falls within the water parameters used by the local sewage treatment clinic as a reference. Analyzing the data, it is concluded that the wastewater can be used for reuse in less noble purposes, such as toilet flushing, orchard irrigation, cereals, and other crops. In this study, reuse in agriculture, hospitals, sale and donation to third parties, and internal use at Nefrocor were evaluated. Among them, the latter was determined as the best option due to the following factors: reduction to 81,600 liters discarded on average monthly, the possibility of saving R\$3,421.22 per month, low implementation time, and a quick return on investment. Thus, the study indicates that it is possible to reuse the process water, minimizing the impacts caused by its disposal, reducing the consumption of potable water for less noble purposes, and contributing to the conservation of water as a natural resource.

Keywords: *Hemodialysis water, water disposal, reverse osmosis reject, hemodialysis waste.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo da configuração utilizada por Hass para diálise.....	18
Figura 2 - Rim artificial de Willem Kolff	18
Figura 3 - Modelo de dialisador de Gordon Murray.....	19
Figura 4 - Desenho esquemático de dialisador com capilares	20
Figura 5 – Fluxograma da sequência do processo de purificação da água para Ol.	23
Figura 6 - Representação esquemática de osmose e osmose inversa	24
Figura 7 – Principais Etapas do Desenvolvimento do Trabalho	28
Figura 8 – Esquema em blocos do caminho percorrido pela água na Clínica	28
Figura 9 – Ponto de amostragem da saída de rejeito da osmose inversa	29
Figura 10 – Quantidade de água utilizada na osmose pela clínica Nefrocor mensalmente ...	32
Figura 11 – Visão aérea da clínica Nefrocor e Hospital Padre Jeremias, em Cachoeirinha... ..	37
Figura 12 – Fluxograma da osmose inversa com refluxo.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões microbiológicos da água destinada ao consumo humano	14
Tabela 2 – Padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.	15
Tabela 3 - Relação entre os sintomas e os possíveis contaminantes na água.....	20
Tabela 4 - Procedimentos de manutenção do sistema de tratamento de água de hemodiálise	21
Tabela 5 - Características físicas e organolépticas da água potável	21
Tabela 6 - Padrão de qualidade da água para hemodiálise	22
Tabela 7 – Análise quantitativa da água de rejeito.....	33
Tabela 8 – Análise quantitativa da água de osmose tratada	34
Tabela 9 – Critérios para reutilização de água.....	35
Tabela 10 – Tabela de <i>Pugh</i> para comparação de destinos da água de rejeito	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRC – doença renal crônica

HD - hemodiálise

OI – Osmose inversa

LISTA DE SÍMBOLOS

mg – miligrama

L – litro

NTU - Unidade de Turbidez Nefelométrica

cm - centímetro

SUMÁRIO

1	Introdução	10
2	Objetivos	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	Revisão Bibliográfica	13
3.1	Situação da água no Brasil	13
3.1.1	Controle da água do Brasil	13
3.1.2	Sobre Cachoeirinha e a água do esgoto doméstico	14
3.2	Processo de hemodiálise e uso da água no Brasil e no mundo	17
3.2.1	A hemodiálise e o uso da água no tratamento	17
3.2.2	A Qualidade da água para processo de hemodiálise	20
3.2.3	Osmose inversa para o tratamento da água	23
3.3	Destinos da água de rejeito proveniente das Clínicas de Hemodiálise	25
4	Formulação do Problema ou Estudo de Caso	27
5	Materiais e Métodos	28
5.1	Determinação da quantidade de água de rejeito produzida na Clínica	28
5.2	Coleta e Análise da amostra	29
5.2.1	Pontos de amostragem	29
5.2.2	Parâmetros analisados e metodologias de análise	30
5.3	Análise de dados e comparação com a legislação ambiental	30
5.4	Avaliação de possíveis destinos para a água de rejeito	30
5.5	Determinação do melhor destino para a água de rejeito	30
6	Resultados e Discussões	32
6.1	Determinação da quantidade de água de rejeito produzida na Clínica	32
6.2	Composição da água de rejeito	33
6.2.1	Análise qualitativa da água de osmose	33
6.2.2	Comparação das características da água de rejeito	34
6.3	Possíveis destinos para a água de rejeito	35
6.3.1	Reuso para rega na agricultura	35
6.3.2	Reuso no Hospital Padre Jeremias	36
6.3.3	Reuso interno na Clínica Nefrocor	38
6.3.4	Venda ou doação da água de rejeito para terceiros	40
6.4	Seleção do destino mais viável a ser implementado na clínica	41
7	Conclusões e Trabalhos Futuros	42
	REFERÊNCIAS	43

1 Introdução

Devido à redução da disponibilidade de recursos naturais no mundo torna-se imprescindível a busca por um equilíbrio entre os processos produtivos e a proteção do meio ambiente (CONAMA, 1997). Um dos recursos naturais mais importantes a ser gerenciado é a água, uma vez que é essencial para todas as formas conhecidas de vida, e que a água potável está cada vez mais ameaçada. Estima-se que 30% dos maiores sistemas de água subterrânea estão se esgotando, e que a sua potabilidade está em constante decréscimo, como resultado da poluição mundial crescente entre os anos 2000 e 2015 (UNEP, 2016; Richey et al., 2015).

No Brasil, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, cerca de 40% das águas do país estão em situação ruim ou péssima, enquanto 25% apresentam qualidade boa ou ótima de potabilidade (MMA, 2018). Além disso, a disponibilidade hídrica per capita do Brasil é de aproximadamente 1/3 da média mundial, sendo que em algumas regiões do país, como o Nordeste, essa disponibilidade é ainda menor (ANA, 2017). Segundo dados do Instituto Trata Brasil, apenas 45% do esgoto gerado no país é tratado, enquanto o restante é despejado diretamente nos rios e mares (ITB, 2021). Isso resulta em altos índices de poluição e contaminação das águas, afetando a saúde da população e comprometendo a disponibilidade de água para uso futuro.

Nesse contexto, a reutilização de água pode ajudar a reduzir o grau de poluição das águas, uma vez que permite a utilização de água tratada em atividades que não exigem potabilidade, como na irrigação de plantações ou na lavagem de ruas e calçadas. De acordo com a Agência Nacional de Água (2021), a reutilização de água pode reduzir em até 50% a demanda de água para fins não potáveis, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e para a redução da poluição dos corpos d'água (ANA, 2021).

Entre os estabelecimentos que utilizam grandes volumes de água e que podem explorar novas oportunidades de reuso estão as clínicas médicas e os hospitais. Entre tantas atividades realizadas nesses estabelecimentos encontra-se a hemodiálise, procedimento médico que substitui a função dos rins de filtrar o sangue. Tal procedimento utiliza um equipamento especializado que se baseia na diferença de concentração entre o sangue e outro fluido neutro. Cada paciente realiza, em média, 3 sessões de hemodiálise por semana e são necessários cerca de 120 litros de fluido em cada uma, o qual é composto principalmente por água deionizada (NERBASS, et al., 2022; SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEFROLOGIA, 2022).

Para produzir a água deionizada, é utilizado um sistema de osmose inversa, o qual gera duas correntes de água: uma corrente tratada, com baixa carga iônica, que é encaminhada para os pacientes; e, uma corrente de rejeito, concentrada em minerais. A água de rejeito é geralmente descartada diretamente no esgoto doméstico e representa cerca 34% da água que passa pelo sistema de tratamento (SANTOS., 2019).

A partir disso, o presente trabalho teve como motivação o interesse da Clínica de hemodiálise Nefrocor, da cidade de Cachoeirinha, Rio Grande do Sul, em reutilizar a água de rejeito produzida no equipamento de osmose inversa, como já ocorre em diversos países, como Marrocos, Austrália e Estados Unidos, que utilizam o concentrado para irrigação, lavanderia, saneamento ou até mesmo para geração de vapor de esterilização em hospitais

(TARRASS et al., 2010). No caso abordado, a água de rejeito produzida na Nefrocor é livre de contaminantes e possui muitos minerais em sua composição. Essa água é despejada diretamente na rede de esgoto local e suas características de pureza não são aproveitadas pela clínica.

Assim, o presente trabalho visa a avaliar o potencial de utilização da água de rejeito oriunda de um sistema de tratamento de osmose inversa da Clínica Nefrocor através da análise de composição química e caracterização do líquido em questão. A partir dos resultados, tem-se como objetivo propor diferentes formas de reuso que contemplem a viabilidade de implementação da clínica e as legislações ambientais vigentes, visando a determinar uma destinação mais sustentável para essa água, que não seja o descarte imediato na rede de esgoto local.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo do presente trabalho é avaliar uma destinação mais nobre e ecológica para a água descartada no processo de hemodiálise na *Clínica Nefrocor*, situada no município de Cachoeirinha, Rio Grande do Sul, valorando-a e reduzindo as vazões de água encaminhadas ao sistema de tratamento de esgoto do município.

2.2 Objetivos Específicos

O presente trabalho apresenta quatro objetivos específicos:

- a)** Determinar a quantidade de água utilizada e descartada por mês no estabelecimento estudado durante o período de seis meses;
- b)** Avaliar a composição da água descartada e comparar com a legislação vigente;
- c)** Avaliar os possíveis destinos que a água pode ter e indicar o destino mais viável a ser implementado na clínica.

3 Revisão Bibliográfica

Esse capítulo apresenta os principais tópicos necessários ao desenvolvimento do presente trabalho. Tais tópicos estão subdivididos de forma que seja possível entender a legislação nacional vigente sobre tratamentos e parâmetros da água potável, o processo de hemodiálise e sua evolução histórica e o procedimento de osmose inversa envolvido na geração de resíduo. Por fim, são apresentados os destinos atuais da água de rejeito que já são reaproveitados tanto no Brasil quanto no mundo.

3.1 Situação da água no Brasil

3.1.1 Controle da água do Brasil

A água é um recurso natural indispensável para a vida humana, animal e vegetal. Trata-se de uma substância química abundante no planeta, sendo formada por rios, oceanos e mares e nas geleiras. Estima que o planeta possui cerca de 1,4 bilhões de km³ de água cobrindo cerca de 71% da superfície do Planeta. Contudo deste percentual, cerca de 97,5% são de água salgada e apenas 2,5% são de água doce. Porém, a disponibilidade da água doce é distribuída da seguinte forma: cerca de 68,9% estão situadas nas calotas polares, 29,9% constituem as águas subterrâneas, 0,9% representam a umidade do solo e pântanos e apenas 0,3% constituem água superficial, que é destinada a consumo humano (GRASSI 2001).

O Brasil tem aproximadamente 28% da disponibilidade de água sul-americana e 12% das reservas mundiais, e delas, 72% estão localizados na bacia Amazônica. O Rio Amazonas é o maior do mundo em volume de água, despejando 175 milhões de litros por segundo no Oceano Atlântico. Dessa forma, o país possui uma parcela significativa da água doce do mundo, no entanto, ela não é plenamente distribuída no território nacional, e a poluição dificulta a distribuição correta desse recurso no Brasil. A falta de água potável e de saneamento no Brasil foi responsável em 2019 por 273.403 internações hospitalares, causando mais de 2700 mortes (Agência Brasil, 2019).

A gestão das águas no Brasil começou a tomar forma com a Lei Federal Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997), e contempla a elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos como instrumento de gestão, que possui o objetivo de fundamentar e orientar a implementação dessa política. Em março de 2022 foi aprovado um novo Plano Nacional de Recursos Hídricos, contemplando o período de 2022 até 2040. O plano aborda a gestão para a prevenção e redução de conflitos pelo uso da água; os investimentos em infraestrutura hídrica; a sua gestão e operação dos recursos hídricos; a revitalização das bacias hidrográficas; as medidas de adaptação às mudanças climáticas; e a prevenção e o enfrentamento de eventos extremos de secas e cheias (BRASIL, 2022)

Além disso, o plano contempla temas que merecem regulamentação, sejam eles por Leis, Decretos ou Resoluções do Conselho, abordando, por exemplo, o estabelecimento de diretrizes para o reuso da água. A reutilização a água é uma das abordagens mais viáveis para a gestão correta dos recursos hídricos em situações em que a redução do consumo não é possível, levando em conta que o tratamento da a água acarreta altos custos (BRASIL 2022).

3.1.2 Sobre Cachoeirinha e a água do esgoto doméstico

A água que abastece o município de Cachoeirinha provém do rio Gravataí, e é fornecida pela Companhia Rio-Grandense de Saneamento (CORSAN). Aproximadamente 100% da população do município é atendida com abastecimento de água, frente a média de 86,69% do estado e 83,96% do país. Ao que tange ao sistema de esgoto, também fornecido pela CORSAN, 76,11% da população é atendida com esgotamento sanitário, em comparação com a média de 46,85% do estado e 66,04% do país. (INSTITUTO DE ÁGUA E SANEAMENTO, 2022).

A CORSAN mantém a água de Cachoeirinha tratada dentro dos padrões de potabilidade exigidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05/2017 do Ministério da Saúde, por meio do controle de qualidade realizado nas Estações de Tratamento de Águas (ETA) e poços ou fontes do município de Cachoeirinha. O Anexo estabelece padrões e normas à água destinada ao consumo humano. Os principais parâmetros exigidos pelo Anexo XX estão dispostos nas Tabelas 1 e 2. Ainda, a respeito das competências de cada Órgão envolvido, cabe a CORSAN exercer o controle e a manutenção da qualidade da água e dos seus sistemas de fornecimento, já a Secretaria da Saúde é responsável por promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano (BRASIL, 2017).

Dessa forma, as Clínicas de Hemodiálise situadas em Cachoeirinha recebem a água conforme os padrões de potabilidade seguidos pela CORSAN, e a partir dela realizam tratamentos posteriores a fim de adequá-la para o uso em seus processos.

Tabela 1 – Padrões microbiológicos da água destinada ao consumo humano

Tipo de água		Parâmetro	Valor Máximo Permitido	
Água para consumo humano		Escherichia coli	Ausência em 100 mL	
Água Tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais	Ausência em 100 mL	
	Nos sistemas de distribuição (reservatórios e rede)	Escherichia coli	Ausência em 100 mL	
		Coliformes totais	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Fonte: PRT MS/GM 2914/2011

Tabela 2 – Padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

Parâmetro	Valor referência pela CAS*	Unidade	Valor Máximo Permitido
<i>INORGÂNICAS</i>			
Antimônio	7440-36-0	mg/L	0,005
Arsênio	7440-38-2	mg/L	0,01
Bário	7440-39-3	mg/L	0,7
Cádmio	7440-43-9	mg/L	0,005
Chumbo	7439-92-1	mg/L	0,01
Cianeto	57-12-5	mg/L	0,07
Cobre	7440-50-8	mg/L	2
Cromo	7440-47-3	mg/L	0,05
Fluoreto	7782-41-4	mg/L	1,5
Mercúrio	7439-97-6	mg/L	0,001
Níquel	7440-02-0	mg/L	0,07
Nitrato (como N)	14797-55-8	mg/L	10
Nitrito (como N)	14797-65-0	mg/L	1
Selênio	7782-49-2	mg/L	0,01
Urânio	7440-61-1	mg/L	0,03
<i>ORGÂNICAS</i>			
Acrilamida	79-06-1	µg/L	0,5
Benzeno	71-43-2	µg/L	5
Benzo[a]pireno	50-32-8	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	75-01-4	µg/L	2
1,2 Dicloroetano	107-06-2	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	75-35-4	µg/L	30
1,2 Dicloroetano (cis + trans)	156-59-2 (cis) 156-60-5 (trans)	µg/L	50
Diclorometano	75-09-2	µg/L	20
Di(2-etilhexil) ftalato	117-81-7	µg/L	8
Estireno	100-42-5	µg/L	20
Pentaclorofenol	87-86-5	µg/L	9
Tetracloroeto de Carbono	56-23-5	µg/L	4
Tetracloroetano	127-18-4	µg/L	40
Triclorobenzenos	1,2,4-TCB (120-82-1) 1,3,5-TCB (108-70-3) 1,2,3-TCB (87-61-6)	µg/L	20
Tricloroetano	79-01-6	µg/L	20
<i>AGROTÓXICOS</i>			
2,4 D + 2,4,5 T	94-75-7 (2,4 D) 93-76-5 (2,4,5 T)	µg/L	30
Alaclor	15972-60-8	µg/L	20
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	116-06-3 (aldicarbe) 1646-88-4 (aldicarbesulfona) 1646-87-3 (aldicarbe sulfóxido)	µg/L	10

Aldrin + Dieldrin	309-00-2 (aldrin) 60-57-1 (dieldrin)	µg/L	0,03
Atrazina	1912-24-9	µg/L	2
Carbendazim + benomil	10605-21-7 (carbendazim) 17804-35-2 (benomil)	µg/L	120
Carbofurano	1563-66-2	µg/L	7
Clordano	5103-74-2	µg/L	0,2
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	2921-88-2 (clorpirifós) 5598- 15-2 (clorpirifós-oxon)	µg/L	30
DDT+DDD+DDE	p,p'-DDT (50-29-3) p,p'-DDD (72-54-8) p,p'-DDE (72-55-9)	µg/L	1
Diuron	330-54-1	µg/L	90
Endossulfan (a b e sais) (3)	115-29-7; I (959-98-8); II (33213-65-9); sulfato (1031- 07-8)	µg/L	20
Endrin	72-20-8	µg/L	0,6
Glifosato + AMPA	1071-83-6 (glifosato) 1066- 51-9 (AMPA)	µg/L	500
Lindano (gama HCH) (4)	58-89-9	µg/L	2
Mancozebe	8018-01-7	µg/L	180
Metamidofós	10265-92-6	µg/L	12
Metolacoloro	51218-45-2	µg/L	10
Molinato	2212-67-1	µg/L	6
Parationa Metílica	298-00-0	µg/L	9
Pendimentalina	40487-42-1	µg/L	20
Permetrina	52645-53-1	µg/L	20
Profenofós	41198-08-7	µg/L	60
Simazina	122-34-9	µg/L	2
Tebuconazol	107534-96-3	µg/L	180
Terbufós	13071-79-9	µg/L	1,2
Trifluralina	1582-09-8	µg/L	20
<i>DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO</i>			
Ácidos haloacéticos total	(6)	mg/L	0,08
Bromato	15541-45-4	mg/L	0.01
Clorito	7758-19-2	mg/L	1
Cloro residual livre	7782-50-5	mg/L	5
Cloraminas Total	10599-903	mg/L	4,0
2,4,6 Triclorofenol	88-06-2	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	(7)	mg/L	0,1

*CAS: Serviço Abstrato Químico (do inglês "Chemical Abstract Service").

Fonte: PRT MS/GM 2914/2011.

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) do município de Cachoeirinha foram dimensionadas para conduzir somente o esgoto doméstico. Os esgotos considerados domésticos são constituídos aproximadamente de 99,9% de solução e o restante 0,1% de material sólido, contendo basicamente matéria orgânica e mineral (em solução e suspensão).

Dessa forma, uma alta concentração de bactérias e outros organismos patogênicos e não patogênicos são tratados ao chegarem na ETE. Ainda, a água da chuva do município é canalizada para uma tubulação de concreto chamada de galeria pluvial, a qual o sistema é independente do saneamento (CORSAN 2022).

A respeito do esgoto hospitalar, a Portaria MS/GM1884/94 da Secretaria de Saúde, substituída pela Resolução ANVISA -RDC nº 050/02 estabelece que, caso haja rede pública de coleta e tratamento de esgoto, todo o esgoto pode ser lançado na rede sem qualquer tratamento prévio. Além disso, a Resolução RDC Nº 222, de 28 de março de 2018 estabelece no artigo 53 que os resíduos do Subgrupo A4 – que compõe os rejeitos de uma clínica de hemodiálise - não necessitam de tratamento prévio para descarte. Dessa forma, para o processo de hemodiálise que ocorre nas clínicas, incluindo o município de Cachoeirinha, uma vez que haja tratamento de esgoto associado ao local da clínica, a água utilizada pode ser descartada na rede de esgoto local. (BRASIL, 2018).

3.2 Processo de hemodiálise e uso da água no Brasil e no mundo

3.2.1 A hemodiálise e o uso da água no tratamento

A Doença Renal Crônica (DRC) consiste na perda progressiva não reversível das funções renais do indivíduo, de tal maneira que os rins não conseguem mais manter a homeostase metabólica e hidrolétrica do corpo. A DRC é um problema de saúde pública mundial, devido à alta taxa de incidência e prevalência, atingindo cerca de 4 milhões de pessoas ao redor do mundo (OLIVEIRA, 2015). A hemodiálise (HD), é o procedimento médico utilizado para tratar cerca de 94,2% dos pacientes que sofrem com a doença, segundo o Censo de 2021, divulgado pela Sociedade Brasileira de Nefrologia. O processo de HD consiste no uso de uma máquina para filtrar o sangue, de forma a retirar do corpo resíduos prejudiciais à saúde, como o excesso de sal e de líquidos, simulando o trabalho de um rim saudável que nesse caso o mesmo não está apto a realizar (NERBASS, et al., 2022; SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEFROLOGIA, 2022).

Os primeiros conceitos sobre HD surgiram em 1830, por Thomas Graham, entretanto foi somente no século XX que a técnica foi aperfeiçoada o suficiente para ser utilizada em seres vivos. Em 1913, Abel John J., em Baltimore, Maryland (EUA), realizou o primeiro procedimento de diálise. O procedimento consistia na remoção do sangue de um cachorro vivo que sofria de insuficiência renal, e por meio de punção arterial o líquido era submetido à circulação extracorpórea para purificação. O sangue circulava por ramificações feitas por tubos de vidro e membranas, e então retornava ao animal por uma cânula venosa sem coagular o sistema, chamado até os dias atuais de dialisador. Esse aparelho possibilitou uma HD eficiente, porém Abel reconheceu em seus estudos a necessidade de um aparelho com maior área de superfície (ABEL, ROWNTREE, & TURNER, 1990; EKNOYAN, 2009).

Posteriormente, em 1917, George Hass deu seguimento aos estudos de Abel através do aprimoramento das membranas utilizadas para a filtração. Hass avaliou membranas de diversas origens até determinar aquela que permitisse maior eficiência de filtração. Além disso, Hass também foi responsável por inserir o conceito de esterilização no procedimento, ao utilizar etanol para limpar e desinfetar os componentes extracorpóreos do sistema pré uso (WIZEMANN & RITZ, 1998). A Figura 1 mostra um modelo que era utilizado por Hass.

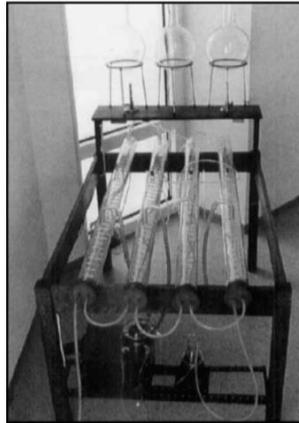


Figura 1 - Modelo da configuração utilizada por Hass para diálise
Fonte: WIZEMANN, RITZ (1998).

Em 1945, Willem Johan Kolff, nos Países Baixos, realizou a primeira diálise humana bem-sucedida através do desenvolvimento de um rim artificial utilizando material celofane, tecnologia nova na época. O rim era formado por 30 metros de tubos de celofane enrolados em espiral em volta de um cilindro de aço horizontal giratório, o qual era banhado em um tanque aberto com capacidade de 70 a 100 litros de dialisado. O sangue do paciente percorria o interior do tubo, e a cada rotação do cilindro, mergulhava no tanque (MCKELLAR, 1999), conforme mostra a Figura 2. Os componentes eram limpos e esterilizados, e antes da conexão no paciente, a solução dialisadora era retirada e os tubos eram preenchidos com uma solução salina, removendo o ar do seu interior (MCKELLAR, 1999).

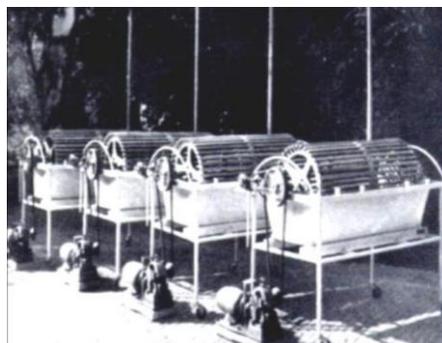


Figura 2 - Rim artificial de Willem Kolff
Fonte: KOLFF et al. (1944).

O modelo de Kolff foi o primeiro a ser comercializado na Europa e nos Estados Unidos (MCKELLAR, 1999). Em paralelo, Gordon Murray, no Canadá, sem conhecer os trabalhos de Kolff, desenvolveu um sistema de diálise semelhante com membranas de celofane. Entretanto, o Modelo de Murray era mais compacto, estático, vertical, e com frascos de vidros, que se contrapunha ao modelo de Kolff, que era horizontal e aberto (MCKELLAR, 1999). O modelo de Murray pode ser visto na Figura 3:

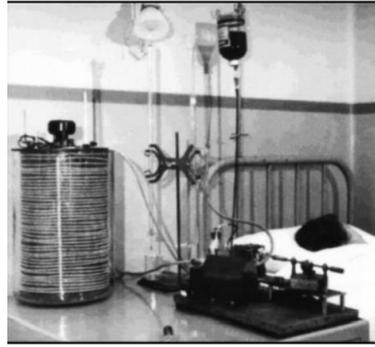


Figura 3 - Modelo de dialisador de Gordon Murray
Fonte: MCKELLAR (1999).

No Brasil, o primeiro rim artesanal foi fabricado pelo Doutor Tito de Almeida, em São Paulo, e era baseado no sistema de Murray. Contudo, o aparelho não apresentava bons resultados, uma vez que sua montagem era morosa, e foram encontrados muitos problemas com o acesso venoso, visto que a cada sessão era necessário dissecar uma artéria e uma veia, razão pela qual o procedimento era disponibilizado apenas a pacientes com insuficiência renal aguda. Em 1º de dezembro de 1949, o primeiro paciente sobreviveu ao tratamento nacional, e somente em 1956 chegou ao Brasil o primeiro rim artificial de Kolff- Brigham, modelo adotado para a realização da diálise. (MION JUNIOR & ROMAO JUNIOR, 1966).

Um marco importante para o avanço da HD ocorreu em 1960, quando o Politetrafluoretileno foi criado pelos médicos Belding, Hibbard e Scribner, e pelo engenheiro Wayne Quinton, o que possibilitou a diálise em pacientes crônicos (BLAG, 2007). O modelo utilizava-se de placas paralelas, com mecanismo de fluxo contracorrente que auxiliava no desempenho da remoção dos líquidos com toxinas (KULATILAKE; VICKERS, 1969). Contudo, o modelo ainda sofria com altos riscos de infecção, uma vez que a esterilização seguia precária, causando a morte de inúmeros pacientes. Dessa forma, levando ao desenvolvimento de um subtipo do modelo chamado Kill, o qual era mais compacto, de fácil montagem e pré-esterilizado (KULATILAKE; VICKERS, 1969; TWARDOWKI, 2008).

Em 1968, um grupo de pesquisadores nos Estados Unidos desenvolveu o modelo que mais se assemelha do atual, sendo um dialisador de fibra oca, também denominado capilar, utilizando fibras de acetato de celulose. Nesse modelo, o sangue flui para dentro de uma câmara em uma extremidade do compartimento cilíndrico, permitindo sua circulação através dos capilares da membrana sem entrar em contato direto com a solução de diálise, a qual circula em torno das fibras. A partir de 1985 esse modelo de dialisador já se encontrava consolidado, dominando mercado e eliminando os demais modelos (TWARDOWSKI, 2008).

Atualmente, após inúmeros avanços da HD, o modelo de dialisador utilizado mundialmente possui aproximadamente 30 cm, em que o sangue venoso flui através de cerca de 20.000 capilares sintéticos, que somados resultam em mais de 2 m² de área superficial. A filtração ocorre por meio de poros microscópicos dos capilares, separando os resíduos metabólicos, menores que as hemoglobinas, e os componentes que devem ser mantidos no sangue. Em contracorrente passa uma solução, chamada de solução dialisadora, que é composta geralmente por, a cada 1 L, 49 mL de solução básica, 27 mL de solução ácida e

924 mL de água. Essa solução tem como objetivo atrair as impurezas presentes no sangue, e então o sangue filtrado retorna ao paciente. A solução de diálise é descartada ao sair do aparelho, dessa forma, por não haver contato com o exterior e por utilizar uma solução dialisadora controlada e geradores de ozônio para controle de contaminação da água, há menor propensão de infecção do paciente (JESUS; ALMEIDA, 2016). A Figura 4 mostra o modelo do dialisador utilizado atualmente.

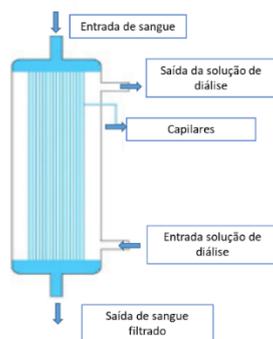


Figura 4 - Desenho esquemático de dialisador com capilares
Fonte: A autora, 2023.

Portanto, o uso de água para o procedimento de HD é essencial. Em termos de volume, os pacientes são submetidos a um tratamento semanal de 3 sessões com duração média de quatro horas, e para cada sessão é necessário um volume de aproximadamente 120 litros de água (JESUS; ALMEIDA, 2016). Considerando que há aproximadamente 4 milhões de pessoas com DRC no mundo, é possível aproximar a quantidade de sessões realizadas por ano em 576 milhões, resultando em $69,1 \cdot 10^{10}$ litros de água utilizadas no mundo por ano para o tratamento de HD (OLIVEIRA, 2015; JESUS; ALMEIDA, 2016).

3.2.2 A Qualidade da água para processo de hemodiálise

Uma vez que os pacientes estão expostos a grandes volumes de água, é vital que ela seja tratada, caso contrário é possível que eles sejam contaminados e sofram complicações médicas. Para utilizar a água potável nas máquinas de diálise, é necessário purificar e transportar a água através de um sistema de distribuição dentro do centro de diálise (SIMÕES et al., 2005).

Durante o processo de hemodiálise pode ocorrer o crescimento microbiano ou a exposição a substâncias químicas caso o sistema de condicionamento não seja apropriado. Contaminantes podem ocasionar toxicidade química e efeitos adversos quando em grandes quantidades, podendo provocar nos pacientes: náuseas; diarreia; acidose metabólica; dificuldades motoras e de fala; convulsões; anemias e osteopatias. (COULLIETTE; ARDUINO, 2013). Cada contaminante apresenta uma reação específica, como é possível ver na Tabela 3

Tabela 3 - Relação entre os sintomas e os possíveis contaminantes na água

Sinais e sintomas	Possíveis contaminantes
Anemia	Alumínio, cloraminas, cobre e zinco
Doença óssea	Alumínio, flúor

Hemólise	Cloraminas, cobre, nitratos
Hipertensão	Cálcio, sódio
Acidose metabólica	pH baixo, sulfatos
Fraqueza muscular	Cálcio, magnésio
Náuseas, vômitos	Bactérias, cálcio, cobre, endotoxinas, pH baixo, magnésio, nitratos, sulfato, zinco
Deterioração neurológica e encefalopatia	Alumínio

Fonte: Simões et al. (2005).

Os primeiros relatos de sintomas ocasionados pela contaminação da solução de diálise ficaram conhecidos como “síndrome da água dura”, que era caracterizada por vômitos, fraqueza, náuseas e hipertensão arterial. O surgimento da síndrome da água dura foi diretamente associado à presença elevada de cálcio e magnésio na água não tratada utilizada nas sessões dialíticas (RODRIGUES, 2019; SIMÕES et al., 2005).

Um caso grave de contaminação nacional ocorreu em uma clínica de hemodiálise que atendia 131 pacientes em Caruaru, Recife, no ano de 1996. Nessa clínica, 100 pacientes desenvolveram falência aguda do fígado e 52 destes foram a óbito devido à contaminação da água da hemodiálise com presença de toxinas de cianobactérias. Por essa razão, no mesmo ano, entrou em vigor a Portaria 2042 do Ministério da Saúde, que tinha como finalidade definir os padrões de qualidade da água para hemodiálise (RODRIGUES, 2019; SILVA, 2016; SIMÕES et al., 2005).

Posteriormente, a Portaria 2042 foi substituída pela Portaria nº 82 de janeiro de 2000 (BRASIL, 2000), e então em 2004 pela Resolução RDC nº 154/2004 (BRASIL, 2004). Após, ocorreu novamente a sua substituição pela RDC Nº 33, de 3 de junho de 2008, que dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação dos Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise no Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2008). Atualmente, a legislação brasileira que vigora é a de nº11/2014, que determina parâmetros físico-químicos e microbiológicos que definem a qualidade da água para hemodiálise (BRASIL, 2014). Os parâmetros de controle da água para o tratamento de hemodiálise estão presentes nas Tabela , 5 e 6

Tabela 4 - Procedimentos de manutenção do sistema de tratamento de água de hemodiálise

Procedimento	Frequência
Limpeza do reservatório de água potável	Semestral
Controle bacteriológico do reservatório de água potável	Mensal
Limpeza e desinfecção do reservatório e da rede de distribuição de água para hemodiálise	Mensal

Fonte: Brasil (2014)

Tabela 5 - Características físicas e organolépticas da água potável

Característica	Parâmetro aceitável	Frequência de verificação
Cor aparente	Incolor	Diária

Turbidez	Ausente	Diária
Sabor	Insípido	Diária
Odor	Inodoro	Diária
Cloro residual livre	Água da rede pública > 0,2 mg/L Água de fonte alternativa > 0,5 mg//L	Diária
pH	6,0 - 9,5	Diária

Fonte: Brasil (2014)

Tabela 6 - Padrão de qualidade da água para hemodiálise

Componente	Valor máximo permitido	Frequência de análise
Coliforme total	Ausência em 100 mL	Mensal
Contagem de bactérias heterotróficas	100 UFC/mL	Mensal
Endotoxinas	0,25 EU/mL	Mensal
Alumínio	0,01 mg/L	Semestral
Antimônio	0,006 mg/L	Semestral
Arsênio	0,005 mg/L	Semestral
Bário	0,1 mg/L	Semestral
Berílio	0,0004 mg/L	Semestral
Cádmio	0,001 mg/L	Semestral
Cálcio	2 mg/L	Semestral
Chumbo	0,005 mg/L	Semestral
Cloro total	0,1 mg/L	Semestral
Cobre	0,1 mg/L	Semestral
Cromo	0,014 mg/L	Semestral
Fluoreto	0,2 mg/L	Semestral
Magnésio	4 mg/L	Semestral
Mercurio	0,0002 mg/L	Semestral
Nitrato (N)	2 mg/L	Semestral
Potássio	8 mg/L	Semestral
Prata	0,005 mg/L	Semestral
Selênio	0,09 mg/L	Semestral
Sódio	70 mg/L	Semestral
Sulfato	100 mg/L	Semestral
Tálio	0,002 mg/L	Semestral
Zinco	0,1 mg/L	Semestral

Fonte: Brasil (2014)

No passado, antes da RDC n° 154/2004 entrar em vigor, a desinfecção dos equipamentos era feita pela adição de cloro ao reservatório de água purificada, visando a eliminar a colonização por microrganismos e a conseqüente formação de biofilmes. Neste processo, era estipulada uma concentração de 500 ppm de cloro, além de um tempo mínimo de contato com todo o sistema. Por este motivo, era necessário um longo processo de enxágue e testes de cloro, até que o mesmo estivesse dentro dos valores seguros e aceitáveis para a hemodiálise, o que gerava um volumoso desperdício de água. Atualmente de acordo com os

padrões de qualidade de água para hemodiálise vigentes, é constatado que concentrações superiores a 0,5 ppm são prejudiciais aos pacientes renais. (FARIA et al., 2016)

Além das Resoluções nacionais, há ainda normas internacionais. As principais normas de referências conhecidas mundialmente são as normas seguidas pela Comunidade Europeia e as normas sugeridas pela *Association for the 16 Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI) nos Estados Unidos da América (SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEFROLOGIA, 2022).

Ao seguir corretamente as legislações, o tratamento da água contém um componente de pré-tratamento, geralmente uma combinação de filtro de membrana, filtro de sedimentos, e um filtro de carvão ativado para a remoção de cloro e cloraminas; um abrandador ou deionizador para remoção de cátions, um sistema eliminador de partículas, devido a passagem da água pelo carvão e resinas, e por fim uma unidade de osmose inversa, OI, responsável por remover solutos, bactérias e endotoxinas (DAMASIEWICZ; POLKINGHORNE; KERR, 2012). Na Figura 5 é possível visualizar um esquema de tratamento de água para o uso em hemodiálise.

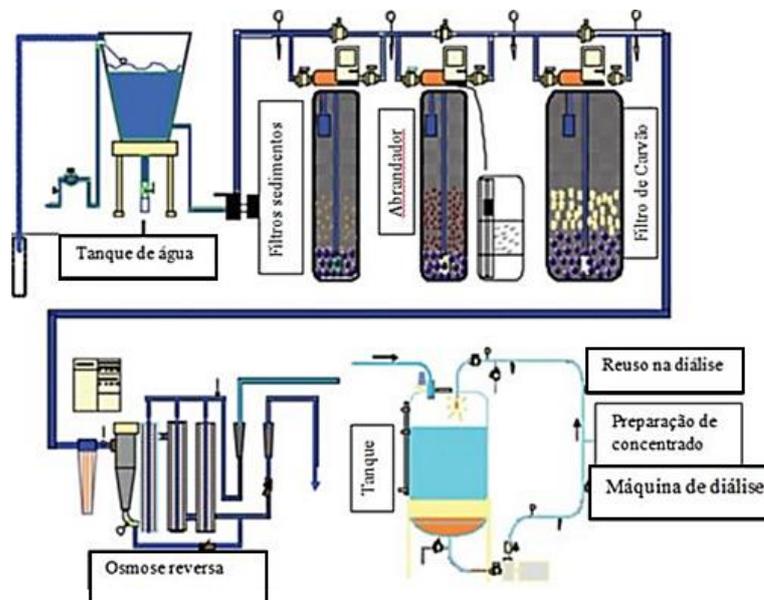


Figura 5 – Fluxograma da sequência do processo de purificação da água para OI.

Fonte: Adaptado de MONTANARI et al. (2009).

3.2.3 Osmose inversa para o tratamento da água

O processo de osmose é natural, e ocorre no corpo humano diariamente garantindo regulação da rigidez celular, além disso, também é realizado pelas plantas, para definir a quantidade de água que vai para cada parte do vegetal. Dessa forma, o fenômeno é de fundamental importância na natureza, e foi descrito pela primeira vez no século XIX (SOARES, 2006). O princípio básico da osmose envolve a ação da água quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana semipermeável, de forma que a água fluirá dela, no sentido da solução menos concentrada, hipotônica, em direção a mais concentrada, hipertônica, até que as duas soluções atinjam o equilíbrio de concentração e que

a pressão exercida pelas soluções sobre a membrana se iguale. Esse processo ocorre pela diferença de pressão osmótica existente entre as soluções (KRIEGER, 2016).

Já, a osmose inversa (OI) não é um processo natural e consiste em um processo que ocorre por meio da aplicação de pressão mecânica superior à pressão osmótica do lado da solução mais concentrada. Assim, é possível deixar a solução hipertônica ainda mais concentrada ao pressionar a solução por meio de uma na qual a solução em alta pressão passa para um vaso, chamado de permeador, onde a membrana semipermeável está situada. (OLIVEIRA, 2016). a Figura 6 ilustra o princípio e a diferença entre a OI e a osmose natural.

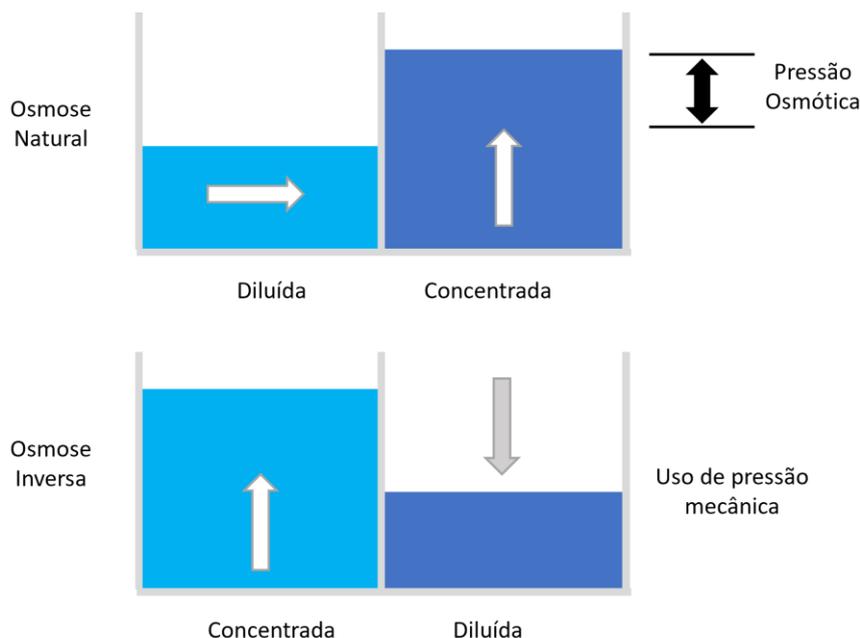


Figura 6 - Representação esquemática de osmose e osmose inversa
Fonte: RIBEIRO, 2016

A água utilizada na HD deve ser obrigatoriamente tratada com o uso da OI desde o ano 2000, ano em que o Ministério da Saúde aprovou a Portaria nº 83 de 03 de janeiro de 2000, (ELZESSER, 2014). O processo de OI ocorre no procedimento de purificação da água que será utilizada pelo dialisador, chamada de solução dialisadora. Para esse tratamento, utiliza-se uma máquina para retirada de impurezas que podem provocar efeitos colaterais nos pacientes renais. O sistema de OI inclui em sua estrutura um pré-filtro, uma bomba de alta pressão e membranas de OI. O primeiro componente tem como função proteger a bomba e as membranas dos resíduos de carvão, de resina ou de algum outro meio filtrante, advindo dos componentes anteriores do tratamento de água (AMATO; CURTIS; PAYNE, 2013).

Para retirada de impurezas, após passar pelos filtros, a água encanada é bombeada para dentro da máquina de OI, que possui um sistema de membranas em espiral composto geralmente por 5 camadas feitas de poliamida, polisulfona e poliéster. Os resíduos indesejáveis são retidos na membrana, e somente a água pura passa por elas. Dessa forma, ao final do processo, há a formação de uma água clarificada, utilizada para o processo de HD, e de um rejeito concentrado, que carrega consigo o que não passou pelas membranas

(SYDNEY WATER, 2022). No tratamento da água com o uso do equipamento, cerca de 33% da água que entra no sistema é descartada como água concentrada, também chamada de rejeito, e que não é utilizada para diálise. Portanto, provocando um grande descarte de água, que consequentemente está associado ao seu custo nas unidades de diálise. (SANTOS, 2019).

É possível estimar o nível de desperdício de água de rejeito. Nos Estados Unidos, a geração anual equivalente de água rejeitada é de aproximadamente 27 ggalitros, o que seria suficiente para fornecer todos os requisitos anuais de água para uma cidade de aproximadamente 175.000 habitantes, como de Salt Lake City, Utah (TARRASS et al., 2010). Além disso, o uso racional da água pode ajudar a diminuir a emissão de carbono. No Reino Unido, Connor et al. relataram que se os 14.400 litros de água de hemodiálise rejeitados por dia em uma clínica fossem reaproveitados, em um ano cerca de 1.240 kg de equivalentes de CO₂ seriam evitados (TARRASS et al., 2010).

3.3 Destinos da água de rejeito proveniente das Clínicas de Hemodiálise

O reuso da água de rejeito, produzida durante o processo de osmose inversa, torna-se atrativo devido ao seu possível impacto financeiro e ambiental. Atualmente, existem diversas abordagens técnicas para a recuperação dessa água de rejeito, desde a seleção e o projeto do sistema de osmose inversa para o redirecionamento da água para usos internos na clínica, sendo esta uma abordagem menos nobre, ou também técnicas mais complexas, como o reprocessamento da água para uso na diluição do próprio dialisato. Dessa forma, as tecnologias de reaproveitamento da água de reuso envolvem desde a sua recirculação para uso em vasos sanitários, até a sua aplicação em processos mais sofisticados para a remoção de poluentes e sua dessalinização. Contudo, atualmente as clínicas buscam alternativas mais específicas que podem redirecionar essa água de rejeito com um destino mais nobre, além do uso local, com o objetivo de suprir a demanda de água de áreas próximas, visto que as propriedades dessa água a tornam apta para o consumo (TARRASS; BENJELLOUN; BENJELLOUN, 2020).

Além disso, devido ao grande volume de rejeito gerado o qual é apenas utilizado para usos internos menos nobres da clínica, como para vasos sanitários e limpezas de pátios, representa uma porcentagem de mitigação pequena. Para suprir essas necessidades de uma clínica de hemodiálise apenas 22% em média da água de rejeito é utilizada, ou seja, analisando o volume total de rejeito cerca de 78% do mesmo continua sendo descartado no esgoto doméstico. Além dos fins internos, as demais possibilidades de reuso são mais complexas, uma vez que necessitam, de aportes financeiros e de espaço físico para a implementação de novos aparelhos de purificação, sendo assim, é necessário avaliar o custo benefício de cada caso (SANTOS., 2019).

Instalações de diálise em diversos países, como Austrália, Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, China, França, Espanha e Marrocos, utilizam a água de rejeito para irrigação, lavanderia, saneamento ou até mesmo para a geração de vapor para a esterilização de instrumentos hospitalares e outros materiais. Além disso, nesses países, a água rejeitada é redistribuída para os pacientes, para que esses utilizem de acordo com sua preferência, como por exemplo: em suas instalações domésticas, para armazenamento em tanques ou para uso

em lavanderia, descarga de banheiro; criação de gado; ou para o cuidado do jardim e da plantação (TARRASS et al., 2010).

Um grande projeto de reutilização da água de rejeito da osmose inversa na Austrália foi o pioneiro no reaproveitamento dessa água em grande escala. O projeto foi realizado em um centro hospitalar, em que dois tanques de retenção de 36.000 litros (doados pela indústria local) de capacidade foram instalados em um telhado do oitavo andar, o qual, sob a influência da gravidade a água de rejeito do sistema é canalizada para o departamento de esterilização centralizado do hospital, a fim de fornecer vapor para seus sistemas de autoclave. Além disso, foram instaladas conexões de encanamento em banheiros selecionados, para descarga de resíduos, e em estações de zeladoria adjacentes para o seu uso na limpeza dos pisos. Por fim, a água de rejeito restante é direcionada para paisagismo. O retorno total desse investimento foi obtido em cerca de 30 meses, em relação as despesas de água hospitalar subsequentes, sendo assim, diminuindo significativamente o consumo de água do hospital (AGAR, 2015).

Especialmente em países áridos o reaproveitamento da água de rejeito é interessante, uma vez que o recurso é ainda mais escasso. Marrocos, país com grande reconhecimento técnico na área de reuso de águas, foi avaliada a adequação da água residual de hemodiálise adequando-a para irrigação. Tarrass e Benjelloun (2020) determinaram que o efluente de dialisato é caracterizado por seu alto teor de condutividade. Essa característica do dialisato é o que o impede, segundo a Organização Mundial da Saúde e Nações Unidas, que o mesmo seja utilizado para irrigação em campos. Os autores propõem o uso de filtros para retirar as quantidades excessivas de cloro e sódio presentes na água de rejeito, a fim de tornar a água adequada para a agricultura. Além disso, na região do mar Mediterrâneo, a água de rejeito proveniente do processo de hemodiálise também é utilizada para regar parques públicos e centros esportivos.

No Brasil, não há legislação específica que regule o reuso da água de rejeito em clínicas de hemodiálise, contudo, a viabilidade do seu reaproveitamento deve atender a NBR 13969/97, norma que determina os possíveis destinos dadas as características físico-químicas dos rejeitos (TELLES; COSTA, 2010). Em um estudo realizado em Salvador, Bahia, foi relatado que os setores de hemodiálise localizados dentro de hospitais podem reutilizar quase que completamente a água de rejeito produzida pela osmose inversa apenas em seu uso interno do hospital, através da aplicação da mesma em banheiros e para gerar vapor de esterilização, diferente do que ocorre em clínicas autônomas (SANTOS., 2019). Já, na cidade de Rio de Janeiro outro estudo realizado possibilitou que a água de rejeito de osmose fosse utilizada em uma indústria farmacêutica como vapor de esterilização durante o processo de fabricação (ANDRADE; LACERDA; OLIVEIRA, 2017). Contudo, apesar de haver estudos pontuais do reaproveitamento da água de rejeito de hemodiálise, a maioria das clínicas não possui um sistema de reutilização, dessa forma, a maioria descarta a água diretamente no sistema de esgoto local (SANTOS., 2019).

4 Formulação do Problema ou Estudo de Caso

O presente trabalho foi realizado na Clínica de Hemodiálise Nefrocor, situada no município de Cachoeirinha, no Rio Grande do Sul. A Clínica apresenta uma área de aproximadamente 1140 m², com um quadro de 21 colaboradores. Os serviços prestados compreendem consultas de urologia, endocrinologia e nefrologia, além da realização de aproximadamente 2.000 seções de hemodiálise por mês. Devido ao número de seções, a Nefrocor necessita de um grande volume de água para seu funcionamento, sendo esse de aproximadamente 719.000 litros por mês.

Cerca de 66% do volume da água consumida pela clínica é utilizado para seções de diálise, os outros 33% são descartados no seu tratamento prévio antes de chegar ao paciente. A água, ao chegar na clínica via rede hidráulica municipal, passa consecutivamente por 3 filtros: filtro abrandador- que substitui os elementos alcalino-terrosos por sódio – um filtro de resina catiônica – que retira partículas sólidas suspensas na água – e um filtro de carvão ativado – que remove cloro livre, cloraminas e compostos orgânicos voláteis da água.

Após filtração, a água passa pela osmose inversa, e nessa parte do processo, 2/3 da água se tornam deionizados e aptos a serem utilizados nas seções de diálise, e o restante da água, cerca de 240.000 litros, torna-se água de rejeito, e é encaminhada à rede de esgoto para ser descartada.

Para controle da qualidade da água que é utilizada para sessões hemodiálise, os parâmetros da Tabela 5 são avaliados mensalmente e semestralmente são realizadas análises para enquadrar a água com os padrões da Tabela 6. Não são realizadas análises na água de rejeito produzida na osmose.

A água de rejeito possui os mesmos componentes da água potável fornecida pela CORSAN, porém ela é mais concentrada em minerais. Desse modo, dada a sua composição, por mais que o descarte via rede de esgoto seja correto pela legislação, faz-se necessário um estudo que vise a análise e reaproveitamento da água de rejeito. Por conta disso, a avaliação técnica e econômica para faz-se necessária para determinar um reuso para essa água que hoje é descartada.

5 Materiais e Métodos

O trabalho foi estruturado em cinco partes principais: (1) Determinação da quantidade de água de rejeito produzida na Clínica (2) Coleta e análise da amostra, (3) Análise dos dados, (4) Avaliação de possíveis destinos para a água de rejeito e (5) Determinação do melhor destino para a água de rejeito. Tais etapas são apresentadas na Figura 7.

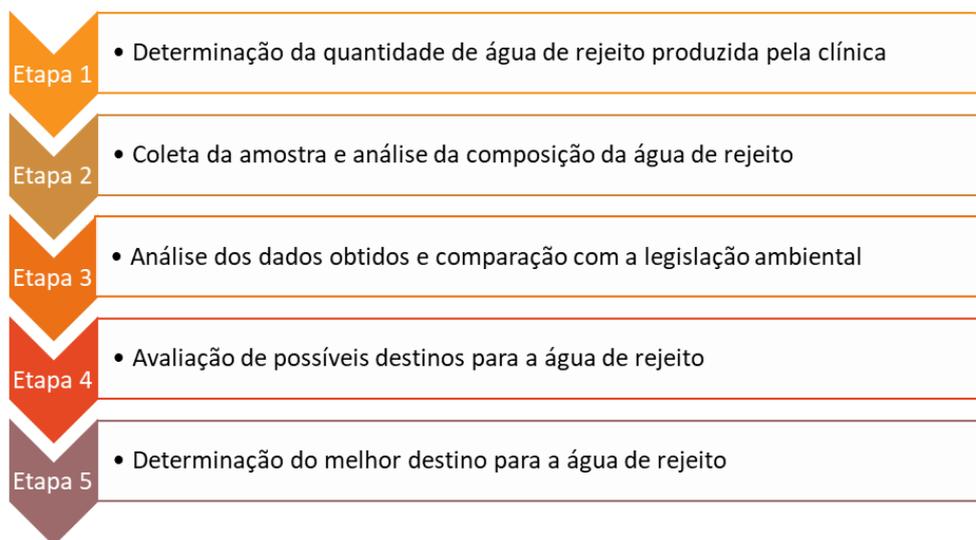


Figura 7 – Principais Etapas do Desenvolvimento do Trabalho
Fonte: A autora, 2023.

5.1 Determinação da quantidade de água de rejeito produzida na Clínica

Para determinação da quantidade de água de rejeito que é produzida na clínica, foram utilizados os valores da conta de água de junho a dezembro de 2022 fornecidas pela CORSAN, que cobra R\$0,01562 pelo litro d'água, para obtenção do consumo total de água na clínica. Uma vez que o uso interno de água da clínica consiste apenas em vasos sanitários e pias, foi considerado o volume de água que entra na Clínica é igual ao volume que passa pelo equipamento.

Para determinar o volume do concentrado, foram utilizados os dados do rotâmetro da saída da osmose inversa para a rede de esgoto, que é instalado nas tubulações de descarte das membranas e fornece a vazão média do período que esteve ligado, em m³/h. O sistema que a água percorre desde a chegada na clínica até sua saída pode ser visto na Figura 8. Além da entrada para osmose, há uma pequena quantidade que é usada em pias e sanitários.



Figura 8 – Esquema em blocos do caminho percorrido pela água na Clínica
Fonte: A autora, 2023.

Com o monitoramento do tempo que a osmose inversa permanecia ligada por dia, foi estipulada a quantidade de água rejeitada durante o período avaliado, através da equação (1):

$$\text{Quantidade (m}^3\text{)} = \text{vazão (} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{)} * \text{tempo (h)} \text{ (1)}$$

Sendo:

Quantidade (m³), a quantidade de água de rejeito que sai do equipamento;

Vazão (m³/h), a vazão da saída média da osmose;

Tempo (h), o tempo de funcionamento diário do equipamento.

Dessa forma, foi possível estabelecer a quantidade total de água que entrou na Clínica e o volume que foi descartado como rejeito pelo equipamento no período de seis meses considerados.

5.2 Coleta e Análise da amostra

5.2.1 Pontos de amostragem

A coleta de amostra de água de rejeito foi feita na saída da osmose, pós tubulações de descarte da água que não passou pela membrana. O ponto de coleta pode ser visto na Figura 9. Para esse trabalho foram utilizados os resultados da amostra coletada no mês de janeiro de 2023.



Figura 9 – Ponto de amostragem da saída de rejeito da osmose inversa
Fonte: A autora, 2023.

A fim de demonstrar que os resultados da amostra da água de rejeito coletada podem ser considerados constantes e não pontuais para o momento da amostragem, foram utilizados os resultados históricos da água filtrada da saída do equipamento. Os resultados das análises semestrais de julho e dezembro de 2022 foram comparados visando a avaliar se houve variações significativas na sua composição. Como a água da CORSAN possui composição

estável, se a saída da OI filtrada também for, os resultados da amostra da água de rejeito coletada também serão. A coleta de amostra da água filtrada foi realizada na saída do equipamento, pós tubulação de saída da água filtrada.

5.2.2 Parâmetros analisados e metodologias de análise

As amostras foram submetidas a análises dos parâmetros: Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Berílio, Cádmiio, Cálcio, Chumbo, Cloro Residual, Cobre, Cromo, Floureto, Magnésio, Mercúrio, Nitratos, Potássio, Prata, Selênio, Sódio, Sulfato, Tálíio, Zinco; Coliformes totais; pH; e, turbidez.

As análises foram realizadas no laboratório Ceimic, terceirizado, o qual foi responsável pelas metodologias utilizadas para cada análise. Os parâmetros foram escolhidos com base no Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05/2017, presentes na Tabela 6.

5.3 Análise de dados e comparação com a legislação ambiental

Os dados obtidos na análise da amostra de água de rejeito foram comparados com a norma ABNT NBR 13969/1997 (limites máximos permitidos dos parâmetros para reuso do efluente tratado). Os resultados também foram avaliados para verificar se há algum fator significativo que distancie a água de rejeito da água potável de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05/2017 do Ministério da Saúde.

5.4 Avaliação de possíveis destinos para a água de rejeito

Após identificados os possíveis reusos da água de rejeito a partir das legislações vigentes, foram selecionados destinos. Para essa etapa foram utilizados materiais de literatura nacional e internacional majoritariamente das bases *Scielo*, *Science Direct* e LUME, utilizando as palavras-chave: Reuso de água, Água descartada, Água de hemodiálise, Osmose Hemodiálise, Reuso de água na irrigação, Doença Renal, Desperdício Hemodiálise, Osmose Inversa, Rejeito de Osmose. Para abrangência de artigos internacionais, as mesmas palavras-chave foram pesquisadas.

Juntamente, os jornais *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, *American Journal of Kidney Diseases* e *Kidney International* foram visitados para análise de estudos de casos que ocorreram internacionalmente. Os sites oficiais da Sociedade Brasileira de Nefrologia e da Associação Médica Brasileira foram usados para pesquisas nacionais sobre maneiras de mitigar e contornar o desperdício de água de rejeito na hemodiálise.

Após selecionados os tipos de técnicas de reuso que se adequassem a realidade da clínica, os destinos foram detalhados abordando aspectos econômicos, tempo de implementação, facilidade de implementação e complexidade de operação para a Clínica.

5.5 Determinação do melhor destino para a água de rejeito

Para fazer a determinação de qual é o melhor reuso possível para a água de rejeito foi utilizada a metodologia "*Pugh Screening*" e "*Scoring*", conforme Rozenfeld 2006. Essa metodologia originalmente serve para comparar os conceitos de que foram elaboradas com o sistema que é utilizado atualmente. Contudo, uma vez que não há reuso atualmente, a

metodologia foi utilizada para comparar os conceitos entre si, sendo no caso as diferentes possibilidades de reuso. Para isso, foi atribuído um sistema de pesos para cada um dos critérios do projeto, de forma criar um ranking das soluções (ROZENFELD et.al., 2006).

Para a elaboração da tabela ranking, foi utilizada uma pontuação unitária a cada item previamente definido. A partir dos itens selecionados, cada um dos destinos selecionados foi comparado entre si e avaliado de “1” a “4”, sendo “1” a pior das opções e “4”, a melhor delas. No final, a pontuação de cada alternativa foi somada, e a maior pontuação indica a melhor opção de reuso para o caso da Clínica Nefrocor.

6 Resultados e Discussões

Neste tópico são apresentados os resultados e discussões do trabalho. Os resultados baseiam-se na caracterização da água, realizada por meio de ensaios físico-químicos da água de entrada, da água destinada aos pacientes e da água rejeitada pela osmose; e na avaliação do possível reuso da água de rejeito fornecendo-a um destino mais nobre.

6.1 Determinação da quantidade de água de rejeito produzida na Clínica

Para apresentar o volume de água utilizado pela clínica, durante o período de um semestre, a fim de fazer uma comparação entre a quantidade que se torna rejeito e a que é utilizada pelos pacientes, foi construído um gráfico em barras, conforme mostra a Figura 10.

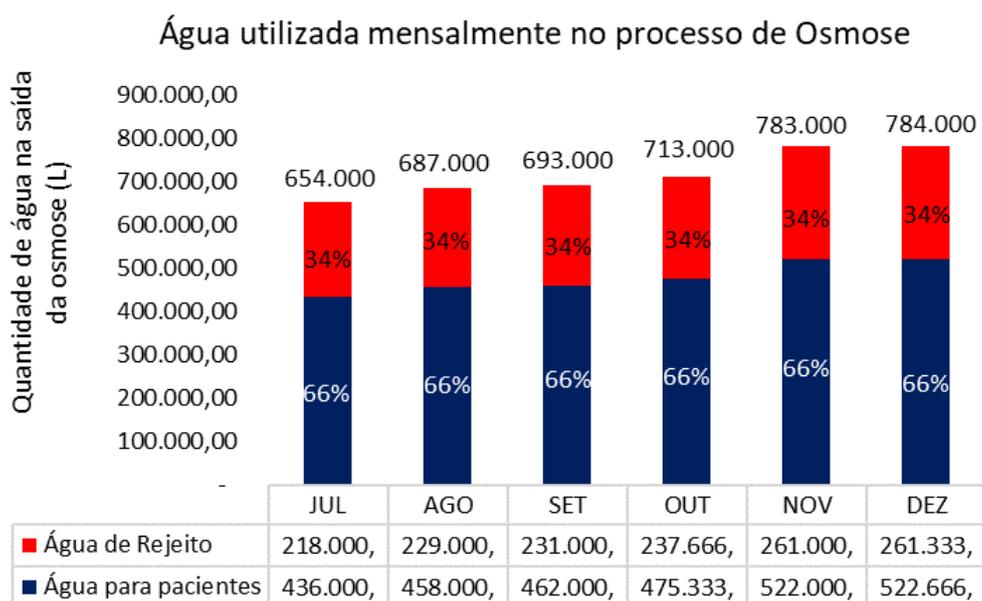


Figura 10 – Quantidade de água utilizada na osmose pela clínica Nefrocor mensalmente
Fonte: A autora, 2023.

Na Figura 10, pode-se observar uma uniformidade na proporção entre a água que é descartada como rejeito e a água que é usada nas seções de diálise, cerca de 34% e 66%, respectivamente. A média do nº de sessões de diálises realizadas na clínica é de 2050 sessões ao mês, e a média de água total utilizada e de rejeito produzidas por mês são respectivamente 719.000 e 240.000 L. Ainda, nota-se que o volume de água utilizado pela Clínica Nefrocor é aproximadamente constante ao longo dos meses, apresentando variações que ocorrem devido ao número de sessões, que aumentaram entre julho e dezembro. Segundo o caso apresentado por FARIA (2022), de uma Clínica de hemodiálise em Curitiba, a mesma produzia cerca de 214.500 L/mês de água de rejeito, em cerca de 2.100 sessões/mês. Comparando os resultados de FARIA (2022) entre a clínica em estudo no presente trabalho é perceptível que a Nefrocor gera um volume semelhante de água de rejeito ao comparar com a clínica curitibana de mesmo porte. Já, o hospital situado na Austrália, relatado por AGAR (2015), produz cerca de 114 L de água de rejeito/sessão de hemodiálise, dessa forma, um valor similar ao da Nefrocor, que produz em média 120 L/sessão.

6.2 Composição da água de rejeito

6.2.1 Análise qualitativa da água de osmose

Na Tabela 7 são apresentados os resultados das análises da água de rejeito de hemodiálise, visando a expor as quantidades de diferentes componentes e aspectos físico-químicos da água. Os resultados possuem como limite máximo os delimitados para água que é purificada pela osmose inversa.

Tabela 7 – Análise quantitativa da água de rejeito

Parâmetro	Unidade	Resultado	Limite máximo
Alumínio	mg/L	<0,006	0,006
Antimônio	mg/L	< 0,005	0,005
Arsênio	mg/L	< 0,006	0,006
Bário	mg/L	< 0,006	0,006
Berílio	mg/L	< 0,006	0,006
Cádmio	mg/L	< 0,006	0,006
Cálcio	mg/L	0,05	0,005
Chumbo	mg/L	< 0,006	0,006
Cloro Residual	mg/L	0,13	0,1
Cobre	mg/L	0,003637	0,0006
Coliforme total	NMP/100mL	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL
Cromo	mg/L	< 0,006	0,006
Fluoreto	mg/L	0,1	0,1
Magnésio	mg/L	< 0,06	0,06
Mercúrio	mg/L	< 0,0001	0,0001
Nitrato com N	mg/L	<0,05	0,05
pH	-	7,20	-
Potássio	mg/L	0,749	0,06
Prata	mg/L	< 0,006	0,006
Selênio	mg/L	< 0,006	0,006
Sódio	mg/L	82,97	0,06
Sulfato	mg/L	0,947	0,5
Tálio	mg/L	< 0,006	0,006
Zinco	mg/L	0,007667	0,006
Turbidez	NTU	1	-

Fonte: A autora, 2023.

Ao analisar os dados da Tabela 7, observa-se que os níveis de cálcio, cloro, cobre, potássio, sulfato, zinco e sódio estão fora dos parâmetros de especificação para a água utilizada para sessões de hemodiálise. Contudo, a água de rejeito enquadra-se nos parâmetros de água utilizados pela CORSAN conforme os parâmetros apresentados na Tabela 2, no item 3.1.2. Ainda, vale destacar que o pH encontrado demonstra que a água é neutra e pela análise de turbidez é possível concluir que a água é translúcida, possuindo uma quantidade baixa de

sólidos em suspensão. Ao comparar com os parâmetros do Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05/2017 do Ministério da Saúde presentes na Tabela 6, é observado que mesmo concentrada, a água de rejeito que deixa o equipamento está dentro dos limites estabelecidos de potabilidade.

6.2.2 Comparação das características da água de rejeito

Na Tabela 8 observa-se os resultados das análises da água de osmose tratada nos meses de julho e de dezembro de 2022.

Tabela 8 – Análise quantitativa da água de osmose tratada

Parâmetro	Unidade	Resultado 01/06/2022	Resultado 01/12/2022	Limite máximo
Alumínio	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Antimônio	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,005
Arsênio	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Bário	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Berílio	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Cádmio	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Cálcio	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,005
Chumbo	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Cloro Residual	mg/L	< 0,1	< 0,1	0,1
Cobre	mg/L	< 0,0006	< 0,0006	0,0006
Coliforme total	NMP/100mL	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL
Cromo	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Fluoreto	mg/L	< 0,1	< 0,1	0,1
Magnésio	mg/L	< 0,06	< 0,06	0,06
Mercúrio	mg/L	< 0,0001	< 0,0001	0,0001
Nitrato com N	mg/L	0,0637	<0,05	0,05
pH	-	6,62	6,77	-
Potássio	mg/L	< 0,06	< 0,06	0,06
Prata	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Selênio	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Sódio	mg/L	0,96	0,709	0,06
Sulfato	mg/L	0,561	<0,5	0,5
Tálio	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,006
Zinco	mg/L	< 0,006	0,0192	0,006

Fonte: A autora, 2023.

Na Tabela 8 é possível observar que nas duas análises realizadas, em junho e em dezembro de 2022, os resultados permaneceram em uma faixa de valor constante, com exceção da concentração de sódio, de zinco e de sulfato. Contudo seus valores estão dentro das incertezas da água fornecida pela CORSAN. Dessa forma, ao considerar que a água de rede fornecida pela CORSAN e a água utilizada para sessões de diálise possuem composições

estáveis ao longo do ano de 2022, é possível concluir que a água de rejeito produzida também possui tais características.

6.3 Possíveis destinos para a água de rejeito

A fim de avaliar os possíveis destinos da água de rejeito, foi adotada a norma da ABNT NBR 13969/1997, que apresenta os parâmetros específicos exigidos para que a água de rejeito de osmose possa ser reaproveitada, sendo os valores apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Critérios para reutilização de água

Classe	Uso Previsto	Coliformes		pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Cloro Residual (mg/L)
		Turbidez (NTU)	Fecais (NMP/100 mL)			
Classe 1	Lavagem de carros e outros que requerem contato direto com a água	Inferior a 5	Inferior a 200	Entre 6 e 8	Inferior a 200	Entre 0,5 e 1,5
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção dos lagos e canais, exceto chafarizes	Inferior a 5	Inferior a 500	-	-	Superior a 0,5
Classe 3	Reúso em descargas de vasos sanitários	Inferior a 10	Inferior a 500	-	-	-
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastos para gados e outros cultivos	-	Inferior a 500	-	-	-

Fonte: Adaptado de NBR 13969, 1997.

Ao comparar os dados da Tabela 9 com os da Tabela 7, apresentada no item 6.2.1, nota-se que a água de rejeito se enquadra nas categorias 3 e 4 de reuso parametrizadas pela ABNT NBR 13969/1997. Vale ressaltar que o nível baixo de cloro residual, apresentado na Tabela 7, de 0,13 mg/L, inviabiliza o uso da água para as Classes 1 e 2.

Nos subcapítulos a seguir, serão apresentados quatro possíveis reusos para a água de rejeito da osmose, sendo eles: reuso na rega e agricultura; reuso no Hospital Padre Jeremias; reuso interno na clínica e reuso através de venda para terceiros. Neles, serão abordados pontos positivos e negativos de cada possibilidade a fim de posteriormente realizar a comparação entre elas.

6.3.1 Reuso para rega na agricultura

Existem estimativas que até 2050 a população mundial atinja 9 bilhões de pessoas, dessa forma, será necessário um aumento de 70% na produção agrícola. Neste cenário, é necessário explorar novas formas de reaproveitar água, de modo a acomodar esse aumento de demanda de água associada. Uma maneira de reaproveitar água para agricultura é utilizar a água de rejeito de hemodiálise (ZAMAN, 2018).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 9 e na Tabela 7, nos itens 6.3 e 6.2.1, respectivamente, é possível concluir que a água de rejeito se enquadra na Classe 4, sendo assim, podendo ser utilizada na agricultura nacional. Para isso, o responsável pela plantação poderia retirar a água de rejeito da Nefrocor diretamente na Clínica, através de caminhões pipa, e coletar a água para ser utilizada na rega. Essa modalidade acarreta custos de instala o de tancagem e bomba na Clínica, de forma a permitir a retirada por caminhão. Caminhões com bomba embutida são de cara contrata o, não sendo válido economicamente. Além disso, também acarreta custos mensais de controle de cloro na água, para garantir as quantidades mínimas necessárias para não acarretar a prolifera o de microrganismos. Pela parte da Clínica será necessário gerenciar a logística de retiradas, dessa forma, precisa estar em contato com os recebedores e garantir que o nível do tanque não ultrapasse o limite máximo permitido.

Nesse caso, a água de rejeito servirá como adubo, o que pode torná-la atrativa financeiramente para os agricultores mesmo com os custos de transportes, os quais dependem da distância entre a Clínica até o seu destino final, e ainda da espécie que será cultivada. Por mais que no país não haja uma legisla o mais rigorosa sobre a qualidade da água utilizada para rega e aduba o,   necessário avaliar cada planta o para saber se a água de rejeito da Nefrocor contempla os minerais necessários para nutrir a planta em questão, a qual pode não reagir bem aos seguintes minerais em excesso presentes na água de rejeito, como: cálcio, sulfato e potássio. Por exemplo, valores de sódio acima de 500 mg/L podem ocasionar seca, pois por mais que ocorra a rega, as raízes são incapazes de absorver a água devido ao alto potencial osmótico do solo. Outro fator importante   o nível de cloro na água, que   essencial para o crescimento da planta, porém, acima de 70 mg/L plantas sensíveis podem ter seu crescimento inibido e serem intoxicadas pelo composto (ZAMAN, 2018). Com os valores de sódio de 82 mg/L e de cloro de 0,13 mg/L, apresentados na Tabela 8, obtidos na água de rejeito da Clínica, observa-se que a água de rejeito, a respeito desses dois últimos componentes, não   prejudicial para a rega de planta es.

Para contornar uma possível toxicidade por outros minérios, presentes na água de rejeito, novas opera es unitárias poderiam ser realizadas na Clínica Nefrocor, a fim de torná-la apta a uso na rega, caso necessário para determinado cultivo. Esse foi o caso do estudo de Marrocos, relatado por Tarras e Benjelloun (2020), em que a água apresentava altas concentra es de Na⁺, resultando em uma alta condutividade e sendo nociva às planta es. A Clínica implementou processos de filtra es e a água de rejeito tornou-se apta para a agricultura local. Nesse cenário, para a Clínica estudada no presente trabalho, não   vantajoso economicamente devido às mudanças de processos necessárias para adequa o dos parâmetros da  gua. Além disso, aumentaria a complexidade dos processos da clínica, requisitando mais funcionários para o controle da qualidade da  gua.

6.3.2 Reuso no Hospital Padre Jeremias

Outro reuso possível para a água de rejeito   replicar o procedimento implementado por AGAR (2015), o qual sugere utilizar a água de rejeito em um hospital para a gera o de vapor de esteriliza o. No caso da Nefrocor, na rua em frente   Clínica está localizado o Hospital Padre Jeremias, conforme mostra a Figura 11. Segundo site oficial do Hospital (2023), ele   o

único hospital presente no município de Cachoeirinha e sua ênfase assistencial é materno-infantil, contando com estrutura de leitos obstétricos, pediátricos, clínicos, cirúrgicos obstétricos e UTI Neonatal, possuindo 101 leitos de internação e 393 colaboradores.



Figura 11 – Visão aérea da clínica Nefrocor e Hospital Padre Jeremias, em Cachoeirinha.

Fonte: Google Maps, 2023.

No caso relatado por AGAR (2015), em uma clínica na Austrália, o sistema de reuso é capaz de reciclar 800 litros de água de rejeito por hora, o qual foi implementado dentro da própria ala de hemodiálise do hospital. O projeto demorou 2 anos para ser implementado, custando cerca de £ 15.000,00, gerando uma economia de £ 7.500 por ano em custos de água e esgoto da rede. Outro caso, relatado por Ribeiro (2022), um sistema semelhante ao implementado por Agar (2015), foi incorporado pelo Hospital de Clínicas de Ribeirão Preto (HCRP-USP), que passou a ter uma economia em volume de água de 575 m³/mês. O custo total de implantação do sistema foi de apenas R\$5.809,43.

Replicar o procedimento no Hospital em Cachoeirinha seria interessante, uma vez que ele conseguiria absorver todo o volume de água de rejeito, contudo, essa solução não é viável a curto prazo. As duas instalações são separadas pela rua Lindolfo Wagner e, assim, seria necessário um alto investimento em reformas, tanto nas duas instalações quanto na via que intercepta o Hospital e Clínica. Essa alternativa demoraria anos para ser concluída, além de ter que envolver o setor público para negociação e realização das mesmas. Fora os custos de implementação, também haveria custos de operação para o bombeamento da água de rejeito da Clínica para o Hospital, os quais teriam que ser pagos com dinheiro público ou com o próprio dinheiro da Clínica.

Caso não seja possível realizar as reformas na rua, uma solução seria fazer a transferência da água via caminhão pipa para o Hospital, contudo, esses carregam entre 15.000 e 60.000 L de água por viagem, sendo assim, é necessário no mínimo 4 viagens por mês para descarregar o volume mensal da água de rejeito gerado pela Nefrocor, de 240.000 litros. Uma cotação realizada com a transportadora TRANSLUNA, situada no município de Cachoeirinha, na qual realiza esse serviço, indicou que o aluguel de caminhões pipa, com capacidade de

transportar 20.000 L, custa cerca de R\$ 600,00 e, considerando o custo de R\$00,01562 por litro de água cobrado pela CORSAN, é possível calcular se é viável economicamente transferir a água da Clínica para o Hospital. Os custos desse serviço foram calculados conforme mostra as Equações 2 e 3:

$$\text{Custo de transporte de água} = \frac{R\$ 600,00}{\text{viagem}} * \frac{240.000L}{\text{mês}} * \frac{1 \text{ viagem}}{20.000L} = \frac{R\$7.200,00}{\text{mês}} \quad (2)$$

$$\text{Custo para adquirir água da rede} = \frac{R\$00,01562}{L} * \frac{240.000L}{\text{mês}} = \frac{R\$ 3.748,80L}{\text{mês}} \quad (3)$$

Dessa forma, pelos resultados obtidos é possível concluir que adquirir a água diretamente da rede é mais barato do que realizar a transferência via caminhão pipa. Dessa forma, a solução de reuso através da parceria com o Hospital Padre Jeremias só é viável caso o setor público apoie a causa e auxilie nas reformas e nos custos mensais.

6.3.3 Reuso interno na Clínica Nefrocor

O reuso interno na Clínica consiste em utilizar o rejeito para as seguintes funções: descargas e torneiras. Contudo, conforme trazido por SANTOS (2019), em uma Clínica de Hemodiálise situada em Salvador, Bahia, cerca de 22% da água de rejeito é suficiente para sanar as suas necessidades internas, dessa forma, uma grande quantidade de rejeito ainda seria direcionada ao esgoto, aproximadamente de 187.000,00 litros, conforme mostra equação 4:

$$\text{Rejeito direcionado ao esgoto} = (1 - 0,22) * 240.000,00 \frac{L}{\text{mês}} = 187.000,00 \frac{L}{\text{mês}} \quad (4)$$

Neste contexto, é proposto para a Clínica Nefrocor, utilizar um processo de osmose inversa adicional, sendo essa a osmose inversa secundária, o qual atualmente é inutilizado na clínica, a fim de mitigar a água de rejeito descartada no esgoto local. O esquema de reuso proposto para a Clínica está ilustrado na Figura 12.

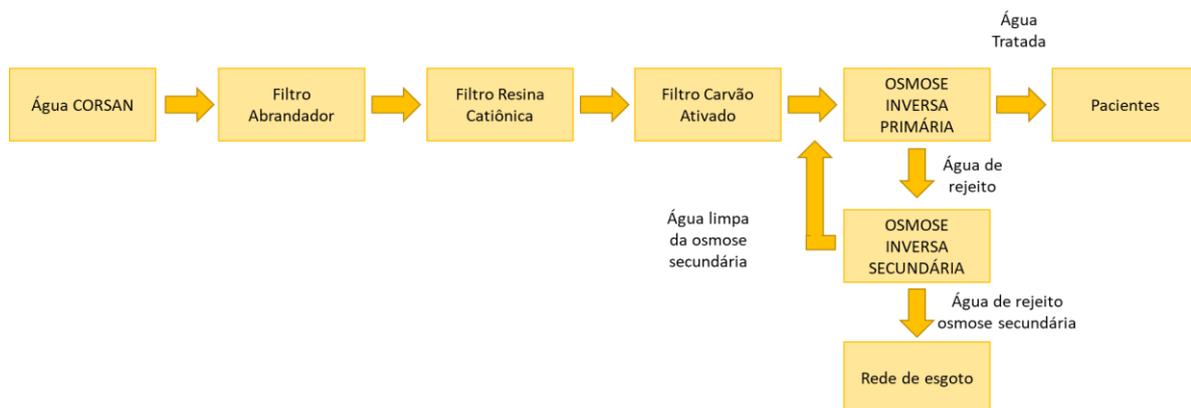


Figura 12 – Fluxograma da osmose inversa com refluxo.
Fonte: A autora, 2023.

A Figura 12 mostra o reuso da água através de uma corrente de refluxo. A água de rejeito da osmose principal, estudada no presente trabalho a qual possui alta carga iônica, passa pela osmose secundária para ser tratada a fim de remover a carga em excesso e voltar a ter uma carga iônica parecida com a água que sai do filtro de carvão ativado. Sendo assim, a água tratada volta para a entrada da osmose primária podendo ser utilizada novamente. O rejeito da osmose secundária, mais concentrado em carga iônica, seria utilizado para usos internos da Clínica Nefrocor.

O uso da osmose secundária se faz necessário uma vez que ao colocar apenas uma corrente de refluxo sobrecarregaria as membranas da osmose primária, fazendo com que sua vida útil diminuísse. Ainda, ao usar a osmose secundária, além de baixar a carga iônica, é possível reutilizar as membranas da osmose primária no processo de osmose secundária, uma vez que o tratamento da osmose inversa secundária não precisa ser tão rigoroso.

Partindo do mesmo princípio de funcionamento da osmose primária, a osmose secundária geraria 34% de rejeito e reaproveitaria 66% no refluxo. Assim, considerando a quantidade de rejeito atual média produzida pela Nefrocor, de 240.000 L/mês, e a quantidade de água utilizada na osmose, de 719.000 L/mês, é possível recalcular as novas quantidades de água de rejeito produzida e a quantidade de água potável necessária para funcionamento da osmose, conforme mostra as Equações 4 e 5.

$$\text{Nova quantidade de rejeito produzido} = \frac{240.000 \text{ L}}{\text{mês}} * 0,34 = 81.600 \frac{\text{L}}{\text{mês}} \quad (5)$$

$$\text{Nova quantidade de água requerida} = \frac{719.000 \text{ L}}{\text{mês}} - \frac{(0,66 * 240.000) \text{ L}}{\text{mês}} = 560.600 \frac{\text{L}}{\text{mês}} \quad (6)$$

Considerando o custo de R\$0,0059, para descarte do litro esgoto, e de R\$00,01562, para a compra do litro de água potável, também é possível mensurar a economia mensal financeira inicial da clínica, apresentado na Equação 7. Dessa forma, conforme a Clínica reutiliza internamente a água de rejeito remanescente, maior será a economia.

$$\text{Economia financeira} = \frac{(240.000 - 81.600) \text{ L}}{\text{mês}} * \frac{\text{R}\$0,0059}{\text{L}} + \frac{(719.000 - 560.600) \text{ L}}{\text{mês}} * \frac{\text{R}\$00,01562}{\text{L}} = \text{R}\$ 3.421,22 / \text{mês} \quad (7)$$

Para a adaptação da tubulação e colocação do processo de osmose inversa secundária, os custos de projetos foram avaliados em R\$10.000,00 por uma equipe de construção local, de forma que o *payback* – termo que define o tempo para recuperar os investimentos iniciais e começar a ter lucro com o projeto – pode ser estimado em 3 meses conforme calculado na Equação 8. Vale ressaltar que não haveria custo de compra de equipamento com a implementação da osmose inversa secundária, uma vez que ela já existe na Clínica. Após implementadas as modificações haveria o custo de operação da osmose secundária por mês, o qual varia conforme a quantidade de horas que a Nefrocor deixaria o equipamento funcionando.

$$\text{Payback} = \frac{\text{R}\$ 10.000,00}{\text{R}\$ 3.421,22 \text{ ao mês}} = 3 \text{ meses} \quad (8)$$

6.3.4 Venda ou doação da água de rejeito para terceiros

O reuso da água de rejeito para venda ou doação para terceiros consiste em disponibilizar a água de rejeito de hemodiálise para empresas, corporações ou órgãos que queiram utilizá-la. Para isso, a água de rejeito produzida seria armazenada em um reservatório, o qual teria que ser instalado, e então encaminhado para as vias de esgoto para ser retirado diretamente por terceiros.

Assim como para reuso para rega na agricultura, a fim de garantir um reuso correto, seria necessário estipular uma periodicidade para a retirada da água em um volume suficiente para não ultrapassar a capacidade de armazenagem existente do reservatório, o qual não acarretasse o despejo do excedente nas vias de esgoto. Ainda, seria necessário adicionar uma quantidade de cloro novamente na água, para garantir os níveis mínimos de controle da água potável. Além disso, para que o terceiro consiga coletar a água de rejeito, seria necessário implementar um sistema de armazenamento e bombeamento na Clínica que seja adaptado para a retirada da água via caminhões pipa.

Para que seja atrativo para o terceiro coletar a água da Clínica, é necessário que o custo envolvido na coleta e no transporte da água de rejeito seja baixa, menor ou igual ao equivalente ao adquirir a água pela CORSAN, dessa forma, sendo ideal que o terceiro esteja próximo da Clínica. Como exemplo, a cerca de 1 quilômetro da Nefrocor, há um Corpo de Bombeiros que poderiam utilizar a água para abastecimento de seus caminhões, sem a necessidade de utilizar caminhões pipa. Ao entrar em contato com a corporação, ela informou que não haveria interesse devido ao custo de deslocamento dos caminhões e que seria necessário envolver órgãos públicos para a avaliação do caso, assim, essa alternativa de reuso não será de implementação imediata.

Ao comparar o caso da Clínica Nefrocor com o da clínica em Marrocos, tratado por TARRAS E BENJELLOUN (2020), em que a água de rejeito é doada ao governo, a qual é filtrada e canalizada para praças públicas próximas às clínicas, há uma diferença latente ao interesse público em reaproveitamento de água. Uma vez que o Marrocos é um país semiárido e desértico, dessa forma, a oferta de água potável é baixa e o fator econômico torna-se secundário, enquanto no Brasil o bem natural é abundante, sendo assim, propostas financeiras que acarretam custos extras ao governo, como o caso do Corpo de Bombeiros, dificultam o reuso da água de rejeito.

Outra instituição que possibilita utilizar a água de rejeito, de forma a não aumentar custos, seria através da própria fornecedora CORSAN a qual poderia utilizá-la para limpeza dos dutos da cidade. Atualmente, a limpeza é realizada com o apoio de caminhões pipa que liberam água nas tubulações da cidade durante o processo de limpeza. Desse modo, o custo de transporte de água, o principal empecilho para a maioria das alternativas de reuso, já é existente. Nessa proposta, em vez de abastecer o caminhão pipa com água potável, a CORSAN abasteceria com a água de rejeito da Nefrocor. Um ponto importante seria a CORSAN avaliar se a água de rejeito, com alta carga iônica, não prejudicaria a estrutura dos dutos através de, por exemplo, surgimento de incrustações.

6.4 Seleção do destino mais viável a ser implementado na clínica

A Tabela 10 corresponde a Tabela de *Pugh* adaptada, criada para comparação das opções apresentadas de reutilização da água de rejeito. Ela será utilizada para definir qual opção de reuso é melhor para o caso da Clínica Nefrocor. Foi adotada a premissa de que não há fator mais determinante para escolha de destino, e então todos os pesos foram considerados unitários.

Tabela 10 – Tabela de *Pugh* para comparação de destinos da água de rejeito

Item	Peso	Reuso para rega na agricultura	Reuso no Hospital Padre Jeremias	Reuso interno na Clínica Nefrocor	Venda ou doação da água para terceiros
Tempo de implementação	1	2	1	3	2
Custo de implementação	1	2	1	3	2
Custo de operação	1	1	3	2	1
Complexidade adicionada aos processos da clínica	1	1	2	3	1
Retorno social e ambiental agregado	1	3	4	1	2
Total		9	11	12	9

Fonte: Adaptado de NBR 13969, 1997.

Ao avaliar os casos de reuso para rega na agricultura e da venda ou doação para terceiros, por se tratar de um mesmo sistema e modo de operação com apenas diferentes recebedores finais, suas notas foram as mesmas. Suas pontuações menores devem-se principalmente: ao custo de operação de bombeamento e de adição de cloro na água de rejeito; à complexidade adicionada aos processos, em razão da necessidade de controlar o nível do tanque e realizar a logística da coleta da água com os respectivos recebedores.

Comparando os dois primeiros colocados, reuso no Hospital Padre Jeremias e reuso interno na clínica Nefrocor, o reuso no Hospital é mais atrativo no âmbito social e ambiental, em relação ao reuso interno na Clínica, uma vez que toda a água seria utilizada para atender a comunidade de Cachoeirinha, e no âmbito de operação, uma vez que após a instalação do sistema de reuso a Clínica poderia bombear a água perenemente para a caixa d'água devida à alta demanda do Hospital. Contudo, a complexidade envolvida para a realização do projeto com o Hospital foi decisória na definição do melhor destino, em razão de ser necessário o envolvimento do setor público. A necessidade de obras na rua Lindolfo Wagner e de modificações no Hospital público tornam essa possibilidade de reuso praticamente inviável dado o tempo para a aprovação do projeto e da implementação dele. Dessa forma, o reuso interno na Clínica Nefrocor torna-se a melhor opção, uma vez que não depende de terceiros para ser realizado e garante uma economia financeira para o estabelecimento.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

Com o respectivo trabalho, foi possível determinar que a Clínica Nefrocor produz em média 240.000 L de rejeito por mês, e que sua composição pode ser considerada constante. Avaliando os componentes, os níveis de cálcio, cloro, cobre, potássio, sulfato, zinco e sódio estão fora dos parâmetros de especificação para a água utilizada para sessões de hemodiálise, porém dentro dos previstos para a água potável pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05/2017 do Ministério da Saúde, incluindo íons, pH, coliformes e turbidez. Avaliando os possíveis reusos pela norma da ABNT NBR 13969/1997, o rejeito enquadra-se nas Classes 3 e 4, podendo ser usado em descargas de vasos sanitários e rega nos pomares, cereais, forragens, pastos para gados e outros cultivos.

Dentre as possibilidades de reuso para a Clínica Nefrocor, a considerada mais viável via análise por tabela *Pugh* é a de reutilizar internamente a água de rejeito com apoio de uma osmose inversa secundária. Além de fácil implementação e *payback* de apenas 3 meses, o estudo possibilitou a redução de 240.000 litros de água de rejeito descartadas por mês para 81.600 litros, representando uma redução de 66%. Assim, o estudo não só atingiu seu principal objetivo de determinar uma destinação mais nobre e ecológica para a água de rejeito de hemodiálise, como também seus os objetivos secundários.

Após a apresentações dos possíveis reusos, a Nefrocor demonstrou interesse nas opções levantadas e optou por implementar o reuso interno na clínica com a utilização da segunda osmose inversa, com previsão de entrega para o final do primeiro trimestre de 2023. Dessa forma, para estudos futuros, há a possibilidade de participar da implementação e acompanhar o processo pelos primeiros meses, realizando ajustes e otimizações. Esse trabalho contribuiria para garantir que o máximo de água de rejeito possível fosse reutilizado, e que a água de osmose utilizada para sessões continuasse dentro dos padrões de qualidade requisitados.

Para trabalhos futuros, também existe a oportunidade de replicar esse mesmo estudo para as demais clínicas de hemodiálise do país, uma vez que a produção de água de rejeito por osmose inversa e descarte na rede de esgoto local é a realidade das clínicas do Brasil. Uma vez que o problema da crescente escassez e poluição da água tange o mundo, é importante realizar estudos com o mesmo propósito, de forma a utilizar o recurso natural de maneira mais consciente e ecológica.

REFERÊNCIAS

- OLIVEIRA, P. M. Complicações do tratamento hemodialítico em indivíduos com doença renal crônica. **J Bras Nefrol**, Salvador, v. 37, n. 2, Supl. 1, p. 8-50, 2015.
- NERBASS, F., Nascimento Lima, H., Thomé, F., Neto, O., Sesso, R., & Lugon, J. Brazilian Dialysis Survey 2021. **J. Bras. Nefrol.** Rio de Janeiro, 2022. Acesso em 04 de dezembro de 2022, disponível em <https://www.scielo.br/j/jbn/a/FPDbGN5DHWjvMmRS98mH5kS/?format=pdf&lang=em>
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEFROLOGIA. Departamento de Nefrologia da Associação Médica Brasileira (AMB).SBN 2021 Censo. **SBN Informa**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 144, 2022. Disponível em <https://www.sbn.org.br/noticias/single/news/o-censo-2021>. Acesso em: 04 de dezembro 2022.
- SANTOS, Juciene. **Descarte Da Água de Rejeito Gerada Pela Osmose Reversa Em Uma Clínica de Hemodiálise No Município de Salvador-BA**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Pós Graduação em Planejamento Ambiental) - Universidade Católica do Salvador, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/03/descarte-rejeito-osmose-reversa.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2022.
- ABEL, John J.; ROWNTREE, L. G.; TURNER, B. B. On the removal of diffusible substances from the circulating blood by means of dialysis. **Transfus. S.Cc.**, Boston, v. 2, no. 11, p. 161-177, 1990.
- EKNOYAN Garabed. **The wonderful apparatus of john jacob abel called the —artificial kidney||. Seminars in Dialysis**, London, v.22, no. 3, p. 287–296, May/June 2009.
- WIZEMANN, Volker; RITZ, Eberhard. Georg Haas: a forgotten pioneer of haemodialysis. **Nephrology**, Malden, v. 4, no. 4, p. 229-234, Aug. 1998.
- MCKELLAR, Shelley. Gordon Murray and the artificial kidney in Canada. **Nephrology Dialysis Transplantation**, Oxford, v. 14, no. 11, p. 2766-2770, 1999.
- MION JUNIOR, D.; ROMAO JUNIOR ,J. E. História da nefrologia. São Paulo: Casa Editor, 1966.
- BLAGG, Christopher R. The early history of dialysis for chronic renal failure in the United States: a view from Seattle. **American Journal of Kidney Diseases**, Philadelphia, v. 49, no. 3, p. 482-496, March 2007.
- KULATILAKE, A. E.; VICKERS, J.; SHACKMAN, R. Clinical evaluation of a disposable artificial kidney. **Br. Med. J.**, London ,v. 3, no. 5668, p. 447-449, Aug. 1969.
- TWARDOWSKI, Zbylut J. Dialyzer reuse part II: advantages and disadvantages. Seminars in Dialysis. History of hemodialyzers' designs. **Hemodialysis International**, Malden, v. 12, no. 2, p. 173-210, Apr. 2008.
- JESUS, G. P.; ALMEIDA, A. A. Principais problemas gerados durante a terapia de hemodiálise associados à qualidade da água. **Rev. Eletrôn. Atualiza Saúde**, v. 3, n. 3, p. 41-52, 2016.

ELZESSER, T. S. O Consumo de Água Tratada em Clínica de Hemodiálise e seu Resíduo Líquido. **Revista InSIET**, v. 1, 2014. Disponível em: <http://www.fatectatuape.edu.br/revista/index.php/insiet/article/view/5>. Acesso em: 04 de dezembro de 2022.

SOARES, T; SILVA, I.; DUARTE, S.; SILVA, E. **Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa**. Campina Grande, PB, DEAG/UFCG, 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf> Acesso em 04 de dezembro de 2022.

GRASSI, M. T. Águas no planeta Terra. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, p. 31-40. Edição especial – Maio 2001.

KRIEGER, E. J. **Guia prático para manutenção em equipamentos de Osmose Reversa**, Curitiba: PERMUTION, 2016.p.16.

OLIVEIRA, T; CARVALHO, R. P. A. **Soluções em engenharia de tratamento de água kurita**. Disponível em: <http://www.kurita.com.br/adm/download/Osmose_Reversa.pdf> . Acesso em: 04 de dezembro de 2022.

RIBEIRO, L.; SANCHES-PAGLIARUSSI, M.; RIBEIRO, J. Reutilização da sobra de água permeada e de rejeito de uma central de tratamento hospitalar por osmose reversa de uma unidade de hemodiálise. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, [S. l.], v. 10, p. 259-272, 7 jul. 2016. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/10/reutiliza%C3%A7%C3%A3o-da-sobra-de-%C3%A1gua-permeada-e-de-rejeito-de-uma-central-de-tratamento-de-%C3%A1gua-por-osmose-reversa-de-uma-unidade-de-hemodi%C3%A1lise-hospitalar.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2022.

AMATO, R. L.; CURTIS, J.; PAYNE, G. M. Water treatment for hemodialysis: an update. **CNE – Continuing Nursing Education**. V. 40, n. 5, p. 383-404, 465, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24308107>. Acesso em: 04 de dezembro de 2022.

RODRIGUES, Yasmin. **Avaliação do sistema de tratamento de água em uma clínica de hemodiálise**. 2019. 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pampa, [S. l.], 2019. Disponível em: https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/4620/1/TCC_Yasmin%20Pinto%20Rodrigues_2019%202.pdf f. Acesso em: 4 dez. 2022.

SIMÕES, M. Água de diálise: parâmetros físico-químicos na avaliação do desempenho das membranas de osmose reversa. **Revista Inst. Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 173- 178, 2005. Disponível em: [https://www.bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/revista-doinstituto-adolfo-lutz/64-\(2005\)-2/agua-de-dialise-parametros-fisico-quimicos-na-avaliacaodo-desempenho-/](https://www.bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/revista-doinstituto-adolfo-lutz/64-(2005)-2/agua-de-dialise-parametros-fisico-quimicos-na-avaliacaodo-desempenho-/). Acesso em: 04 de dezembro de 2022.

SILVA, Olvani Martins. **Dialisador Capilar Reutilizado e de Uso Único em Hemodiálise: implicações na saúde dos profissionais, desfechos clínicos e custos**. Orientador: Profa. Dra. Eneida Rejane Rabelo da Silva. 2016. 142 f. Dissertação (Pós-Graduação em Enfermagem) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/152748/001013373.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 dez. 2022.

FARIA, P.; NAGALLI, A.; FREIRE, F.; RIELLA, M. Reaproveitamento do concentrado gerado por sistema de tratamento de água por osmose reversa em uma clínica de hemodiálise. **Eng Sanit Ambient**, [S. l.], ano 2016, v. 2, n. 2, p. 329-336, 1 jul. 2016. DOI 10.1590/S1413-41522016122029. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/YX7ZNfN9v4QqDVGPKQ6zk8td/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 5 dez. 2022.

TARRASS, Faissal; BENJELLOUN, Omar; BENJELLOUN, Meryem. Towards zero liquid discharge in hemodialysis. Possible issues. **Revista de la Sociedad Española de Nefrología**, Morocco, v. 6, 20 dez. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0211699521000369?token=0CD8EC1CDC65BBBB138D1C011EF08EB71F315A401126EA7304FBE5A6781728A2BDAD6E04027321C84469426A6E2965C3&originRegion=us-east-1&originCreation=20221214004514>. Acesso em: 18 dez. 2022

TARRASS, Faissal; BENJELLOUN, Meryem; BENJELLOUN, Omar; BENSABA, Tarik. Water Conservation: An Emerging but Vital Issue in Hemodialysis Therapy. **Blood Purification**, Morocco, 6 out. 2010. DOI 10.1159/000321485. Disponível em: <https://www.karger.com/Article/Pdf/321485>. Acesso em: 18 dez. 2022.

Connor A, Milne S, Owen A, Boyle G, Mortimer F, Stevens P: Toward greener dialysis: a case study to illustrate and encourage the salvage of reject water. **J Ren Care**, 19 mai. 2010, ;36: 68–72. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1755-6686.2010.00153.x>. Acesso em: 18 dez. 2022.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Editora Blucher, v. 2, 2007.

ANDRADE, Bárbara de A. S; LACERDA, Paulo S. B.; OLIVEIRA, Jaime L. M. Viabilidade técnica de reúso de efluente gerado do sistema de osmose reversa em uma indústria farmacêutica. **Revista Ambiente & Água**, [s. l.], 5 out. 2017. DOI <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1980>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/HSH8pJBwD4HLqfLR5Vz3TRJ/?lang=en#>. Acesso em: 18 dez. 2022.

AGAR, John W.M. Reusing and recycling dialysis reverse osmosis system reject water. **Kidney International: nephrologists sans frontières**, [s. l.], v. 88, p. 653–657, 2015. DOI 10.1038/ki.2015.213. Disponível em: <https://www.kidney-international.org/action/showPdf?pii=S2157-1716%2815%2932268-1>. Acesso em: 18 dez. 2022.

COULLIETTE, Angela D.; ARDUINO, Matthew J. Hemodialysis and water quality. **Seminars in dialysis**, Cambridge, v 26, no. 4, p. 427-438, 2013.

DAMASIEWICZ, M. J.; POLKINGHORNE, K. R; KERR, P. G. Water quality in conventional and home haemodialysis. **Nature Reviews Nephrology**, London, v. 8, no. 12, p. 725-734, Dec. 2012.

INSTITUTO DE ÁGUA E SANEAMENTO, **Cachoeirinha RS - Dados IBGE**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/rs/cachoeirinha>. Acesso em: 8 jan. 2023.

CORSAN, **Tratamento de Água**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.corsan.com.br/tratamentodeagua>. Acesso em: 8 jan. 2023.

UNEP. **United Nations Environment Programme**. Global Environment. Disponível em: https://www.unep.org/resources/making-peace-nature?gclid=Cj0KCQjw2cWgBhDYARIsALggUhpicUa0NIq7YBzT5aQUWBa3scMWosCcytlud8mb7gZE6hT9qe7fVAMaAnZnEALw_wcB. Acesso em: 8 jan. 2023.

RICHEY, A. S., et al. "Quantifying renewable groundwater stress with GRACE." **Water Resources Research**, v. 51, n. 7, p. 5217-5238, 2015.

Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 5 Anexo XX da **Portaria de Consolidação**, de 3 de outubro de 2017. Brasília, 2017.

BRASIL, **Lei Federal Nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 5 fev. 2023.

BRASIL, **Resolução nº 232**, de 22 de março de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/deliberacoes-cnrh-1/resolucoes/resolucao_232.pdf. Acesso em: 5 fev. 2023.

BRASIL. Agência Brasil. Falta de saneamento básico causa mais de 273 mil internações em 2019. **Agência Brasil**, [S. l.], p. 1-1, 5 out. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-10/falta-de-saneamento-basico-causa-mais-de-273-mil-internacoes-em-2019>. Acesso em: 15 mar. 2023.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamento das Boas Práticas de Gerenciamento dos resíduos de serviços de Saúde. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 de março de 2004.

Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 82, de 03 de janeiro de 2000. Brasília, 2000.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 154, de 15 de junho de 2014. Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos Serviços de Diálise. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 de maio de 2006.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 33, de 3 de junho de 2008. Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação dos Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise no Sistema Nacional de Vigilância Sanitária. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 27 de junho de 2008.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 11, de 13 de março de 2014. Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Diálise e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 de abril de 2014.

MORTIMER, Frances. Conserving water in haemodialysis. CSH NETWORK, [S. l.], p. 1-6, 6 dez. 2011. Disponível em: <https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/networks/sustainable-kidney-care/conserving-water-haemodialysis>. Acesso em: 5 fev. 2023.

ZAMAN, Mohammad et al. Irrigation Water Quality. In: **IRRIGATION Water Quality**. [S. l.: s. n.], 2018. cap. 5, p. 113-131. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_5. Acesso em: 9 fev. 2023.

Ministério do Meio Ambiente. (2020). **Poluição das águas: entenda as causas e como evitar**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agua/polui-o-das-aguas-entenda-as-causas-e-como-evitar>. Acesso em: 9 fev. 2023.

Agência Nacional de Águas. (2018). **Reúso de água no Brasil**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/assuntos/gestao-da-agua/reuso-de-agua-no-brasil>. Acesso em: 9 fev. 2023.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Seção 1, p. 28.