

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MATHEUS TRINDADE**

**GERENCIAMENTO DE ÁGUA PROVENIENTE DO EFLUENTE  
DE UMA LAVANDERIA HOSPITALAR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2019**

MATHEUS TRINDADE

**GERENCIAMENTO DE ÁGUA PROVENIENTE DO EFLUENTE  
DE UMA LAVANDERIA HOSPITALAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

**LONDRINA  
2019**



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná**

**Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia  
Ambiental**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **GERENCIAMENTO DE ÁGUA PROVENIENTE DO EFLUENTE DE UMA LAVANDERIA HOSPITALAR**

por

**MATHEUS TRINDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 09 de julho de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

---

**Prof. Me. Ana Paula Cosso Silva Araújo**  
(UTFPR)

---

**Prof. Dr. Ajadir Fazolo**  
(UTFPR)

---

**Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi**  
(UTFPR)  
Orientador

---

**Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira**  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus primeiramente, por ter me dado saúde e força para superar cada uma das dificuldades e por ter colocado em minha vida a minha família, meus amigos e profissionais, além de permitir que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida.

Agradecer a todo apoio, amor e incentivo que meus pais me deram. Obrigado por sempre estarem presentes em todos os momentos de minha graduação, nos fáceis e nos difíceis.

Aos meus amigos, que me acompanharam durante toda a trajetória dando apoio, confiança, e que me fizeram acreditar que eu era capaz. Meus dias na faculdade foram mais felizes com vocês.

Em especial aos moradores e agregados do 303, que me aturaram por muitos dos dias da graduação, estudando, traçando metas e planos para que este dia chegasse.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi, pela paciência, companheirismo, dicas e contribuições para este trabalho, orientando, incentivando e dando oportunidades. Você possui um papel essencial na minha formação e jamais esquecerei de todos os esforços que fez para a conclusão deste trabalho.

Aos queridos professores da instituição por todo o conhecimento ensinado, este caminho só foi possível graças ao ensinamento de vocês. Vejo que cada momento em sala de aula e fora dela nos estudos teve um motivo muito maior para sempre me esforçar mais.

TRINDADE, Matheus. **GERENCIAMENTO DE ÁGUA PROVENIENTE DO EFLUENTE DE UMA LAVANDERIA HOSPITALAR.** 2019. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

## RESUMO

Com a crescente demanda pela água, qualquer desperdício ou possível modo para reutilizá-la é um fato a ser debatido, visto que este é um recurso natural essencial para a vida. A conservação desse recurso tem se tornado um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade nos últimos tempos. A gestão ambiental vem inserindo programas de gerenciamento de água para combater o consumo excessivo da água potável em diversos setores de serviços, principalmente em órgãos públicos como hospitais, escolas, prédios públicos e outros departamentos. O objetivo principal desse trabalho foi verificar a possibilidade de reutilizar a água provinda do efluente de uma lavanderia hospitalar, promovendo a economia de recursos naturais e financeiros. Foi baseado em referenciais teóricos citando os tratamentos de efluentes hospitalares. Os meios que promovem a sustentabilidade podem ser usados na conscientização da população e o estudo pode ser útil para auxiliar uma futura implantação de um programa de conservação de água. Os efluentes de hospitais têm de passar por tratamentos físicos, químicos e biológicos para garantir que esse efluente não seja um agente contaminante na área de uso desse efluente tratado. Os estudos sobre o reúso da água no setor da lavanderia devem permanecer em destaque, pois esse departamento é um dos que mais consomem água em um hospital. A priori, o efluente foi tratado por uma membrana de ultrafiltração em laboratório, e assim foi caracterizado e comparado com a literatura. Posteriormente foi levantado o custo de implantação do sistema MBR (278.749,50 R\$) para tratar esse efluente e foi observado um tempo de retorno de 25 meses caso fosse realizado uma purga a cada 3 dias de funcionamento do sistema e 39 meses caso a purga fosse feita a cada 2 dias.

Palavras-chave: Reúso de água. Lavanderia hospitalar. Economia de recursos. Conservação de água.

TRINDADE, Matheus. **MANAGEMENT OF WATER FROM THE EFFLUENT OF A HOSPITAL LAUNDRY**. 2019. 56 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2019.

### **ABSTRACT**

With the increasing demand for water, any waste or possible way to reuse it is a fact to be debated, since this is an essential natural resource for life. The conservation of this resource has become one of the greatest challenges faced by humanity in recent times. Environmental management has been introducing water management programs to combat the excessive consumption of drinking water in various service sectors, especially in public agencies such as hospitals, schools, public buildings and other departments. The main objective of this work was to verify the possibility of reusing water from a hospital laundry effluent, promoting the saving of natural and financial resources. It was based on theoretical references quoting treatments of hospital effluents. Sustainability media can be used to raise awareness of the population, and the study may be useful to assist in the future implementation of a water conservation program. Effluents from hospitals must undergo physical, chemical and biological treatments to ensure that this effluent is not a contaminant in the area of use of this treated effluent. Studies on water reuse in the laundry sector should remain prominent as this department is one of the most water-consuming in a hospital. First, the effluent was treated by a laboratory ultrafiltration membrane, and thus was characterized and compared with a literature. Subsequently, the cost of implanting the MBR system (278,749.50 R\$) was processed to treat the flow and the return time of 25 months if carried out in a purge every 3 days of system operation and 39 months if the purge was done every 2 days.

Key-words: Water reuse. Hospital laundry. Saving resources. Water conservation.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo geral .....	10
2.2 Objetivos específicos .....	10
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
3.1 Importância da conservação .....	11
3.2 Conservação de água em edifícios .....	11
3.3 Diretrizes para implantação de um PCA .....	13
3.3.1 Plano de intervenção .....	13
3.3.2 Tecnologias economizadoras .....	14
3.3.3 Setorização do consumo .....	14
3.3.4 Gestão da oferta .....	15
3.4 Consumo de água em hospitais .....	16
3.5 Reúso de água.....	16
3.6 Sistema de tratamento por ultrafiltração.....	17
3.7 Sistema de tratamento de biorreator de membrana (MBR).....	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
4.1 Aspectos metodológicos da pesquisa .....	19
4.1.1 Coleta das informações .....	19
4.1.2 Cálculo dos índices de consumo .....	19
4.1.3 Caracterização de padrões de água em lavanderia hospitalar .....	22
4.1.4 Caracterização da água da lavanderia .....	22
4.1.5 Organização funcional .....	23
4.1.6 Proposta de reúso de água .....	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
5.1 Histórico do consumo de água.....	25

5.1.1 Índice de consumo de água no período histórico (ICh) .....	25
5.1.2 Índice de consumo estimado de água (ICe) .....	26
5.1.3 Desperdício diário de água estimado (DDe) .....	26
5.1.4 Índice de desperdício diário de água estimado (IDe).....	27
5.1.5 Índice de vazamentos (IV) .....	28
5.1.6 Índice de perdas (IPvol).....	28
5.2 Consumo de água na lavanderia .....	29
5.3 Membrana de ultrafiltração.....	30
5.4 Membranas comumente utilizadas para o MBR .....	32
5.4.1 Determinando a demanda de ar específica .....	34
5.4.2 Área requerida de membrana .....	34
5.4.3 Capacidade necessária de limpeza de ar da membrana.....	35
5.4.4 Volume mínimo do tanque da membrana.....	37
5.4.5 Tempo de retenção de sólidos (SRT) .....	37
5.4.6 Cálculo da produção de biomassa.....	39
5.4.7 Volume do tanque aeróbio.....	40
5.4.8 Desnitrificação .....	41
5.5 Desinfecção por Ozônio .....	43
5.6 Levantamento do custo de implantação.....	44
5.6.1 Tanques de aeração, anóxico e de armazenamento .....	44
5.6.2 Soprador Industrial .....	45
5.6.3 Membrana de ultrafiltração .....	46
5.6.4 Ozonizador .....	47
5.6.5 Bombas necessárias para funcionamento do Sistema .....	47
5.6.6 Laje Radier, materiais hidráulicos, e mão-de-obra .....	48
5.6.7 Custo mensal de energia.....	49
5.6.8 Custo total de implantação do sistema MBR .....	50



5.7 Análise do sistema MBR .....	52
6 CONCLUSÕES.....	53
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a escassez de água tem se tornado um dos objetos mais debatidos a nível mundial. A urbanização sem planejamento associada a problemas ambientais afeta negativamente os ciclos hidrológicos urbanos de água, elevando a demanda por água potável e agravando a escassez de recursos hídricos (SGROI et al, 2018).

O relatório Mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos Recursos Hídricos, da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), lançado em 2019, apresenta mais de 2 bilhões de pessoas em países que possuem um alto estresse hídrico, e cerca de 4 bilhões em escassez severa de água durante pelo menos um mês do ano. Ainda afirma que os níveis de estresse aumentarão ainda mais, à medida que a demanda por água aumenta e os efeitos da mudança climática se intensificam.

Isso traz à tona uma das maiores preocupações que crescem nos grandes centros urbanos, o gerenciamento e o planejamento do uso de recursos hídricos associados ao esgotamento de águas superficiais e subterrâneas.

A atual gestão de recursos hídricos do Brasil está baseada na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), definida na Lei nº 9.433 de 1997, a chamada “Lei das Águas”. A PNRH estruturou, orientou e modernizou a gestão os recursos hídricos no Brasil. Foi a partir dessa lei que a gestão de recursos hídricos obteve avanços significativos no Brasil.

Dentre os diversos setores da economia e prestadores de serviços, uma importante área a ser estudada, é o setor da saúde, mais especificamente, as edificações hospitalares, pois serviços de saúde consomem água intensivamente. Uma vez que os hospitais proporcionam assistência para as pessoas de uma comunidade, eles podem ser caracterizados por uma ligação inerente à responsabilidade social e às dimensões da sustentabilidade (KINNEY, 2010).

Nestas circunstâncias, optou-se por estudar a gestão de água de um hospital público, mais especificamente a lavanderia hospitalar, uma vez que, atualmente, uma das maiores preocupações das instituições públicas e privadas, incide do grande consumo de água relacionado aos seus elevados custos e impactos ambientais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Apresentar um diagnóstico prévio do consumo de água de uma lavanderia hospitalar e propor ações técnicas visando o gerenciamento de água proveniente do efluente da lavanderia de um hospital.

### 2.2 Objetivos específicos

- Promover a redução do consumo fundamentando procedimentos para a elaboração de um programa de uso racional de água a ser implantado na lavanderia hospitalar.
- Conceber um sistema MBR adaptado às condições existentes no hospital para tratamento do efluente, quantificar seu custo e calcular o tempo de retorno de investimento.
- Promover um plano de reúso da água através do gerenciamento de água das lavagens das máquinas da lavanderia, resguardando a saúde dos usuários e o perfeito desempenho dos sistemas envolvidos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Importância da conservação

As condições atuais de disponibilidade e demanda mostram que, na média e na maior parcela do território brasileiro, não existe déficit de recursos hídricos. No entanto, observam-se condições críticas em períodos de estiagem no Semiárido Nordeste e, em algumas regiões, onde o uso da água é intenso como na vizinhança das cidades médias e nas regiões metropolitanas (TUCCI et al, 2000).

Para restabelecer o equilíbrio entre a oferta e demanda de água e garantir a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social, é necessário que métodos e sistemas alternativos sejam adequadamente elaborados e aplicados em função das características do sistema e dos centros de produção específicos.

A associação Americana de Serviços de Água (AWWA) definiu a conservação de água como a prática, as técnicas e as tecnologias que aperfeiçoam a eficiência do uso da água. Nesse sentido, reúso, reciclagem, gestão da demanda, redução de perdas e minimização da geração de efluentes constituem-se, em associação às práticas conservacionistas, nas palavras-chaves mais importantes em termos de gestão de recursos hídricos e de redução de poluição (FIESP, 2005)

É importante mencionar que algumas cidades brasileiras já possuem exigências de ordem normativa e legislativa, como a obrigatoriedade de equipamentos eficientes nas edificações públicas e privadas existentes ou a serem constituídas. Em Londrina, a Lei Municipal nº. 4.806, de 10 de outubro de 2001 alterada pela Lei nº 9.285 de 19 de dezembro de 2003, estabelece medidas que induzem a conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água.

#### 3.2 Conservação de água em edifícios

A nomenclatura “Conservação de Água” é derivada do uso controlado e efetivo deste recurso, através da escolha de práticas conservacionistas, seja o uso racional ou o reúso da água, com o objetivo de minimizar o consumo excessivo de água potável em grandes instalações.

Em abril de 1997 o Ministério do Meio Ambiente, o Ministério das Minas e Energia em conjunto com o Ministério do Orçamento e Planejamento instituíram no Brasil um programa com ênfase na conservação de água, denominado Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). O programa tem como objetivos estipular um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e industriais, concorrentes para uma efetiva gestão da demanda de água gerando economia e benefícios.

A partir dos Documentos Técnicos de Apoio (DTA) produzidos pelo PNCDA, várias organizações vêm desenvolvendo importantes documentos com relação a conservação da água. A FIESP em parceria com a Agência Nacional de Águas e o Ministério do Meio Ambiente contribuiu significativamente com a produção de manuais de conservação de água em edificações, definindo as formas de estruturação e implantação de um Programa de Conservação de Água (PCA).

Um PCA feito de forma sistêmica, implica em otimizar o consumo de água com a resultante redução do volume dos efluentes gerados, a partir da melhora do uso (gestão da demanda) e da utilização de água com diferentes níveis de qualidade para o atendimento das necessidades presentes (gestão da oferta), preservando-se a saúde pública e os demais envolvidos, administrados por um sistema de gestão de água apropriado.

Para a implementação de um PCA faz-se necessário compreender a distribuição do consumo de água, que varia por tipologia de edificação e também de acordo com especificações sistêmicas atendendo-se todas as variáveis envolvidas e suas interações.

Os consumidores em potencial vêm adotando medidas de conservação da água, esses consumidores são classificados como institucionais, industriais e comerciais, estas medidas visam a minimizar o consumo. No Brasil, dentro da tipologia de hospitais, alguns programas de uso racional foram desenvolvidos, destacando-se os apresentados por Oliveira (1999) e Barreto (1998) (ILHA et. Al, 2006).

Os estudos nacionais de menção ao uso racional da água em edificações constituem-se basicamente no diagnóstico do uso desse elemento, envolvendo uma pesquisa documental (projetos dos sistemas prediais de água, contas de água, etc.), levantamento cadastral e de vazamentos e a verificação do comportamento dos usuários. Em consequência, são realizadas propostas de projetos de intervenção, com

a consideração do impacto de redução no consumo de água obtido (ou estimado) com a sua execução (YWASHIMA, 2005).

### 3.3 Diretrizes para implantação de um PCA

As ações que visam a conservação da água englobam duas áreas distintas: a técnica e a humana. As ações de avaliação, medições, aplicações de tecnologias e procedimentos para enquadramento do uso estão estabelecidas na área técnica. Já na área humana, se incluem o comportamento e possibilidade sobre o uso da água e os procedimentos para a realização de ações consumidoras (FIESP, 2005).

#### a) Ações técnicas:

Evidenciam-se a modificação de sistemas e componentes tradicionais, por tecnologias poupadoras de água; setorização da medição, que viabiliza tanto a detecção mais ágil de vazamentos quanto o gerenciamento como um todo do consumo de água; o estabelecimento de um sistema de gerenciamento como um todo do consumo de água; o estabelecimento de um sistema de gerenciamento adequado, de maneira a evitar que os vazamentos aconteçam ou, quando ocorrerem sejam percebidos e corrigidos; reaproveitamento de água e aprimoramento de água usada (ILHA, et al, 2006).

#### b) Ações sociais e econômicas:

Compreende os incentivos e desincentivos econômicos e as campanhas educativas de conscientização dos usuários acarretando na redução de consumo através da adequação de procedimentos relativos ao uso da água e da mudança comportamental individual (OLIVEIRA et al, 1999).

#### 3.3.1 Plano de intervenção

- Setorização do consumo;
- Estratégias para utilização mais eficiente do sistema;
- Reúso de efluentes.

### 3.3.2 Tecnologias economizadoras

Devido a busca para soluções técnicas que tentam diminuir o consumo de água e evitar desperdícios, as empresas exibem novos sistemas e produtos que se mostram cada vez mais eficientes. Os benefícios econômicos da adequação do sistema obtidos pela troca de componentes comuns por equipamentos economizadores dependem das condições locais. Conseqüentemente, antes de adotar-se essa ação, aconselha-se uma avaliação econômica dos procedimentos para a substituição do sistema que tem por objetivo reduzir o consumo de água.

A classificação dos componentes economizadores deve ser executada em função das carências obtidas de análises das suas atividades relacionados com água, da avaliação técnico-econômica e das condições físicas de cada setor.

### 3.3.3 Setorização do consumo

A medição é um modo de gestão que, uma vez especificada, permite monitorar o desempenho dessa particularidade ao longo da vida útil da edificação. As medições podem ser realizadas de diferentes modos, desde a simples seleção dos volumes obtidos pelos hidrômetros dos cavaletes de entrada de água da edificação, até o acompanhamento com equipamentos eletrônicos. A admissão de um sistema de medição setorizada do consumo de água traz como benefício o controle do consumo, sendo possível também a rápida localização de vazamentos.

Segundo Silva et al. (2003), a setorização do consumo tem como fundamental objetivo a obtenção de dados para proporcionar a gestão de demanda de água. Quanto mais especificado o sistema de medição estipulado, melhor a qualidade dos dados obtidos.

Deste modo, o acompanhamento da requisição de água nos diferentes setores permite a obtenção dos patamares de consumo do sistema e qualquer modificação em relação aos índices rotineiros pode resultar em uma intercessão corretiva tão logo quanto o descobrimento detectado (SAUTCHUK, 2004).

### 3.3.4 Gestão da oferta

A seleção de fontes alternativas de obtenção de água deve considerar tanto os custos envolvidos na aquisição, quanto os custos inerentes à descontinuidade do abastecimento de água e à obrigatoriedade de se ter garantida a qualidade necessária a cada uso determinado, mantendo a saúde pública dos usuários internos e externos.

Fontes alternativas de água, são aquelas que não estão perante licença dos órgãos públicos ou que não possuam cobrança pelo uso ou, ainda, que abastecem água com composição diferente de água potável fornecida pelas concessionárias (FIESP, 2005).

Há poucos trabalhos que discutem sobre o aproveitamento de fontes alternativas de forma mais precisa, entretanto observa-se que houve um aumento do número de estudos de caso de reúso de água em instalações industriais e também sobre o aproveitamento de águas pluviais e reúso de água sanitária em residências, dentro dos padrões de edificação sustentável.

Para Fiori, Fernandes e Pizzo (2004) o reúso de água pode ser considerado como parte do uso racional ou eficiente da água, pois representa uma diminuição da produção de efluentes e do consumo de água, devido à possibilidade de substituição de parte da água potável por uma de qualidade inferior. A qualidade da água utilizada e o fim específico de reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os investimentos a serem alocados.

A serventia e o reúso de água devem ser debatidos em uma análise detalhada para que os investimentos sejam eficientemente aproveitados e o empreendimento tenha o resultado esperado, através da abordagem das alternativas de sistemas a serem utilizadas, a quantidade de água e a qualidade designada às atividades solicitadas (LOPES apud YWASHIMA, 2006).

No caso da viabilidade de utilização de efluente tratado o ponto de partida corresponde à caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes gerados, para posterior avaliação das tecnologias de tratamento necessárias. Outro aspecto a ser considerado é a forma de coleta, transporte e tratamento dos efluentes, uma vez que estes devem ser totalmente separados da rede de água potável.



### 3.4 Consumo de água em hospitais

O valor diário de água requerido para hospitais efetuarem suas atividades varia de acordo com alguns fatores, como o número de leitos, serviços gerais realizados pelo hospital, como cozinha e lavanderia, disponibilidade de água, fatores climáticos, culturais e geográficos, entre outros (VERLICCHI et al., 2010).

De acordo com Gautam et al. (2007), o consumo de água em hospitais varia entre 400 e 1.200 L dia<sup>-1</sup> leito<sup>-1</sup>, excedendo muito o consumo doméstico mínimo de 100 L habitante<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, segundo Emmanuel et al. (2009).

Quadro 1: Valores estimados de consumo de água em hospitais de acordo com diferentes autores.

Valor	Unidade	Autor
249-269	L empregado <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Dziegielewski et al, 1993.
311	L empregado <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Army Institute for Water Resources, 1987 in Billings e Jones, 1996, p. 16.
7	L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>	Hoddinot, M., 1981 in Billings & Jones, 1996, p. 16.
300-600	L leito <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Melo e Netto, 1998.
250	L leito <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Berenhauser e Pulici, 1983, Sabesp.
567	L leito <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Metcalf & Eddy, 1991.
38	L empregado <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Metcalf & Eddy, 1991.
250	L leito <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	DMAE, 1988.
950	L leito <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Qasim, Syed R., 1994.
344	L empregado <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Planning and Management Consultants, 1994 in Dziegielewski et al in Mays, 1996.
250	L leito <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Macintyre, 1982.
625	L leito <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Geyer e Lentz (1962) in Mays, 1996.
38	L empregado <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Geyer e Lentz (1962) in Mays, 1996.

Fonte: Adaptado de Tomaz (1999).

### 3.5 Reúso de água

A reutilização de águas residuais pode ser aplicada para vários fins benéficos, como irrigação agrícola, processos industriais, recarga de águas subterrâneas e até mesmo para o abastecimento de água potável após tratamento avançado (SHANNON et al, 2008).

As águas cinzas provenientes de residências, indústrias e hospitais podem ser refinadas, recicladas e reutilizadas (PAKULA e STAMMINGER, 2010).

Segundo Ciabatti et al. (2009), em lavanderias de lavagem industrial, são utilizados quase 15 L Kg<sup>-1</sup> de água para lavar roupa, o que produz em média 400 m<sup>3</sup> de águas cinzas diariamente. Já Sperling (2005), estimou que o consumo médio de água neste setor varia entre 20 e 60 L kg<sup>-1</sup> de roupa. E o Ministério Brasileiro de Saúde

(1986), estimou que as lavanderias hospitalares são responsáveis por 50% do consumo de água nos hospitais e exigem de 35 a 40 L Kg<sup>-1</sup> de água para processar roupas secas. Desta forma, as lavanderias comerciais, hospitalares e industriais acabam produzindo um elevado volume de efluente.

Os efluentes provenientes dos estabelecimentos de saúde como um todo, representam uma complexa mistura de substâncias químicas, micro-organismos patogênicos e substâncias orgânicas e inorgânicas da sujeira das roupas lavadas, além da presença de solventes, desinfetantes, amaciantes, detergentes, matéria orgânica, amônia, sólidos dissolvidos, dentre outros poluentes em razão dos compostos que constituem os produtos químicos empregados nos processos de lavagem (AHMAD e EL-DESSOUKY, 2008).

No Brasil, atualmente, é permitido que os hospitais lancem seus efluentes diretamente na rede coletora de esgotos. Apenas nos casos em que a unidade hospitalar esteja localizada em uma região onde não haja rede coletora de esgoto, os efluentes devem receber tratamento antes de serem lançados nos cursos d'água. Esse tratamento deve ser suficiente para que o efluente atinja parâmetros determinados pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011).

Tratando-se de lavanderias hospitalares, TANIMOTO (2006) afirma que companhias de saneamento ambiental não dão a devida prioridade à gestão desse efluente, visto que esse tipo de atividade descarta cerca de 30 milhões de L dia<sup>-1</sup> de água contaminada, onde a maior parte dessa água não recebe o tratamento prévio adequado. Apesar da importância de um tratamento adequado para esse problema ambiental, o Brasil não possui legislação própria sobre a padronização do lançamento dos efluentes hospitalares (VECCHIA, 2009).

### 3.6 Sistema de tratamento por ultrafiltração

A ultrafiltração é um processo de separação (barreira física) utilizando membranas com tamanhos de poro na faixa de 0,1 a 0,001 µm. Tipicamente as membranas removem substâncias de alto peso molecular, matérias coloidais, e moléculas poliméricas orgânicas e inorgânicas. O desempenho da membrana pode ser melhorado com um sistema de pré-tratamento (peneira, filtro de areia e outros) para reduzir os contaminantes que podem obstruir a membrana. Estes pré-

tratamentos aumentam a taxa de filtração da membrana, reduzem a retro lavagem e a lavagem química da membrana, prolongando sua vida útil. As principais doenças vinculadas pela água controladas pela membrana de ultrafiltração são: Giardia, Legionela e Cryptosporidium. (MOURA et al. 2014).

### 3.7 Sistema de tratamento de biorreator de membrana (MBR)

O sistema MBR, por produzir um permeado de alta qualidade, tem provocado um crescente interesse e tem sido a forma de tratamento mais utilizada para o reúso da água em diversos países, pois ele consegue atender as diretrizes mais rigorosas quanto à exigência dos padrões, como os Sólidos Suspensos Totais e a turbidez em baixas concentrações (Felizatto et al., 2016).

Nas últimas décadas, a tecnologia de membranas tem se difundido no mercado, pela sua alta eficiência no tratamento de água e de efluentes, bem como por possibilitar o aproveitamento da água residuária tratada. A aplicação dessa tecnologia tem se propagado por diversas áreas de interesse, como na química, biotecnologia, farmácia, biomedicina, indústrias alimentícias e bebidas, tratamento de água, tratamento de esgoto e tratamento de despejos industriais.

O termo “reator biológico com membrana” aplica-se a todos os processos de tratamento de águas residuárias integrando uma membrana permeável e seletiva com um processo biológico (Judd, 2011).

O processo MBR tem o tamanho fisicamente menor de plantas em comparação com aqueles convencionalmente empregados para o tratamento de efluentes, chegando a serem até 80% menores, por isso ele se torna importante nas áreas em que: (a) os custos da terra são elevados e aumenta a uma taxa maior do que o índice geral de preços; (b) o espaço no local é limitado; e (c) restrições legais foram impostas ao impacto visual acarretado pela planta (Judd, 2011).

Por essas vantagens do MBR, já reconhecidas pelo mercado, este sistema foi escolhido para ser utilizado na estação de tratamento de efluentes do hospital.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Aspectos metodológicos da pesquisa

A metodologia proposta para esta pesquisa condiz com a reunião do acervo dos diversos trabalhos desenvolvidos e métodos criados por diferentes meios de uso racional de água já estabelecidos no Brasil. É importante lembrar que os principais trabalhos que contribuíram para a fundação metodológica desta pesquisa correspondem ao PNCDA e o PURA-USP.

A estratégia metodológica recomendada procura apresentar o consumo do perfil de água e tipologia da edificação, compará-la com os índices constantes obtidos através da literatura, e após análise dos resultados, propor ações procurando a minimização do consumo de água.

#### 4.1.1 Coleta das informações

O trabalho teve fundação inicial com base na caracterização do empreendimento para que fosse entendido o uso da água no edifício. Durante esta etapa foram realizadas visitas, entrevistas e os possíveis procedimentos para levantamento de dados em campo. Foram catalogados os pontos de consumo de água, identificando atividades consumidoras de água e vistoriada a detecção de vazamentos visíveis nos pontos de utilização.

#### 4.1.2 Cálculo dos índices de consumo

Estes itens referenciam a base da demanda do consumo de água para as atividades realizadas em uma lavanderia hospitalar. Em sequência dos índices reais, são obtidos os dados de referência para os cálculos dos índices estimados de consumo de água.

O cálculo do índice de consumo de água é realizado para identificar o volume de consumo diário por agente consumidor. OLIVEIRA (1999) explica que o índice de consumo é a relação entre o volume de água consumido em um determinado período, denominado período histórico, e o número dos agentes consumidores nesse mesmo período.

O ICh (índice de consumo de água no período histórico) pode ser obtido dividindo-se o consumo diário de água pela população total, ou seja, população fixa mais a população flutuante. O valor do ICh é dado pela equação 1, mostrada abaixo:

$$ICh = \frac{Cm \times 1000}{Na \times Dm} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

IC: Indicador de consumo (L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>);

Cm: Consumo mensal (m<sup>3</sup>);

Na: Número de agentes consumidores;

Dm: Quantidade de dias de funcionamento do estabelecimento no referido mês.

O índice do consumo estimado (ICe) de água é dado pelo valor de Cme dividido pelo número de agentes consumidores e pela quantidade de dias úteis de cada mês. Expresso na equação 2, mostrada abaixo:

$$ICe = \frac{Cme \times 1000}{Na \times Dm} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

IC: Indicador de consumo estimado (L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>);

Cme: Consumo mensal estimado (m<sup>3</sup>);

Na: Número de agentes consumidores;

Dm: Quantidade de dias úteis no referido mês.

O consumo total de água, é considerado por uma parcela utilizada e outra perdida, que pode ser entendida pelo desperdício. O desperdício é definido como sendo a água disponível em um sistema que não é utilizada, ou seja, no excesso do uso, devido ao descaso dos usuários pela necessidade de conservação e também a água é utilizada sem que gere nenhum benefício, como o caso dos vazamentos.

Dentro da metodologia estabelecida nesta pesquisa examinaram-se as possibilidades de combate ao desperdício por meio de harmonização de processos, componentes e controle de pressão da água.

O desperdício de água estimado (DDe) é um valor hipotético (dado em: L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) obtido através do valor real (ICh) pelo valor estimado (ICe), que estima quantos litros de água estão sendo desperdiçado diariamente por leite (Equação 3).

$$DDe = ICh - ICe \quad \text{Equação 3}$$

O índice de desperdício diário de água estimado (IDe) é um valor percentual de perda sugerido (Equação 4):

$$IDe(\%) = \frac{ICh - ICe}{ICh} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Para a estimativa das perdas por vazamentos visíveis podem ser feitas medições diretas ou então adotar valores constantes presentes na bibliografia. O cálculo do volume de água perdida diariamente, em função dos vazamentos observados, serve como base para se estabelecer uma meta a ser alcançada após a correção dos vazamentos. A seguir, a fórmula para calcular o índice de vazamentos (Equação 5):

$$IV(\%) = \frac{\sum PuV}{\sum Pu} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

IV: índice de vazamentos (%);

PuV: Pontos de utilização do sistema com vazamentos;

Pu: Pontos de utilização do sistema.

Relacionado ao índice de vazamentos obteve-se a estimativa das perdas volumétricas, quebras ou defeitos dos equipamentos hidráulicos. Assim sendo, têm-se como índice de perdas volumétricas (Equação 6):

$$IPvol(\%) = \frac{Qpv}{Qcm} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

IPvol: Índice de perdas volumétricas visíveis;

Qpv: Somatório da vazão de perdas observadas (m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup>);

Qcm: Volume de água médio consumido mensalmente ( $\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$ ).

#### 4.1.3 Caracterização de padrões de água em lavanderia hospitalar

Reconhecida a existência do consumo excessivo de água para a lavanderia hospitalar, foi realizada a medição e levantamento do consumo ideal de água com o levantamento de informações específicas sobre a forma de operação e funcionamento do sistema hidráulico das máquinas de lavagem e dos ciclos necessários para cada tipo de roupa.

A partir do consumo e da operação de lavagem em sistemas hidráulicos hospitalares relativos à lavanderia industrial hospitalar, foram avaliados os padrões de qualidade de água requisitados para lavanderia hospitalar.

Também foi realizada a análise de efluentes de cada um dos ciclos de lavagem e enxague, avaliando os seguintes parâmetros: turbidez, cor aparente, Demanda Química de Oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos.

#### 4.1.4 Caracterização da água da lavanderia

A lavanderia hospitalar possui três máquinas de lavar de porte industrial (60, 100 e 200kg de capacidade) em funcionamento. As máquinas realizam diferentes ciclos, que operam de forma automatizada. Os ciclos variam de acordo com o grau de sujidade da roupa a ser lavada.

Foram coletadas amostras de cada enxague para os ciclos de lavagem, desde as pesadas/cirúrgicas até as leves/cobertores. Estas foram comparadas a outro efluente bruto do artigo “*Wastewater recycling in laundries – from pilot to large-scale plant*” de acordo com os parâmetros descritos na Tabela 1. Todas as análises seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 1: Efluente bruto da lavanderia estudada comparado a outro artigo

	Lavanderia estudada	Wastewater recycling in laundries – from pilot to large-scale plant
Temperatura (°C)	15,8	15-30

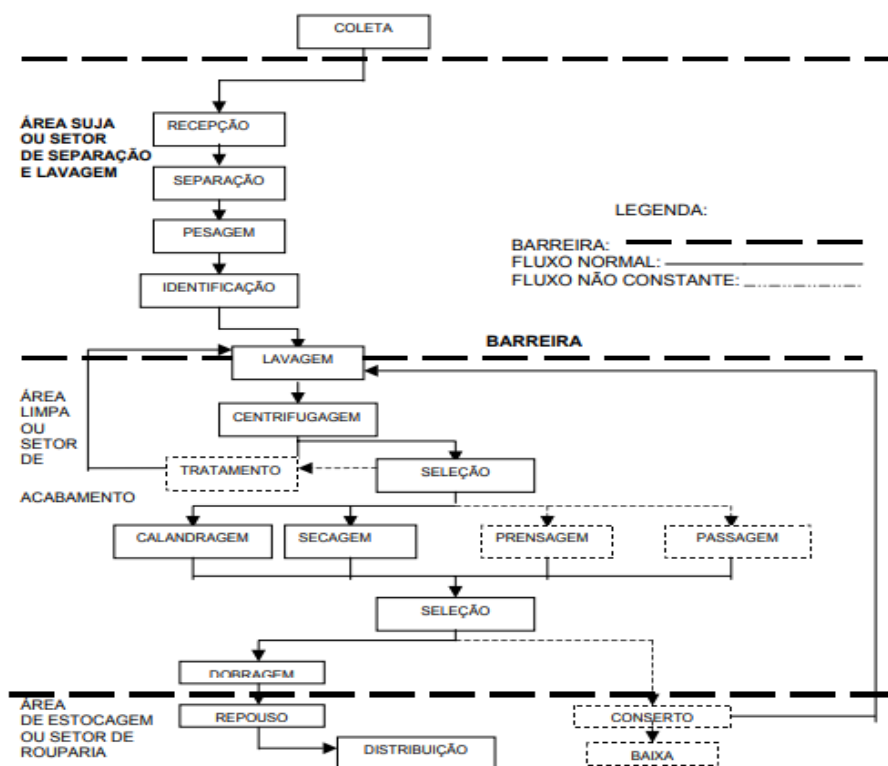
pH	11,28	9-11
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	653,2	1900
Cor (uC)	403	-
Turbidez (UNT)	58,5	-
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	414	1050
Nitrogênio total (média – $\text{mg L}^{-1}$ )	10,6	40

Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.5 Organização funcional

A figura 1 ilustra o esquema da lavanderia estudada neste trabalho.

Figura 1 - Fluxograma operacional da lavanderia hospitalar



Fonte: Ministério da Saúde, Manual de lavanderia hospitalar

#### 4.1.6 Proposta de reúso de água

A partir do item 4.1.3 foi realizada a análise de processos de tratamentos usuais e de literatura para determinar e avaliar a economia viabilizando o reúso de



integral ou de parte do efluente gerado para utilização na própria lavanderia em ciclos compatíveis com a qualidade de água requisitada e determinada como padrão.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Histórico do consumo de água

Os valores apresentados no quadro 2, mostram o consumo médio diário e o custo mensal de água no hospital de estudo no período de janeiro a dezembro do ano de 2017.

Quadro 2: Valores descritivos de consumo diário e custo mensal de água no ano de 2017.

<b>Mês (2017)</b>	<b>Média do consumo diário (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Valor mensal (R\$)</b>
<b>Janeiro</b>	185,32	70.690,65
<b>Fevereiro</b>	240,00	82.693,96
<b>Março</b>	215,35	82.154,12
<b>Abril</b>	266,37	98.343,40
<b>Mai</b>	232,77	88.801,61
<b>Junho</b>	275,23	114.527,94
<b>Julho</b>	262,90	113.043,00
<b>Agosto</b>	251,35	108.266,49
<b>Setembro</b>	244,73	101.829,58
<b>Outubro</b>	260,90	112.182,56
<b>Novembro</b>	255,87	106.464,82
<b>Dezembro</b>	252,65	108.629,79
<b>Média</b>	245,29	98.090,65

Fonte: Sanepar (2017).

De acordo com o hospital, a lavanderia hospitalar é responsável por cerca de um terço do consumo de água no hospital, resultando num consumo médio de 81,77m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de água neste setor.

#### 5.1.1 Índice de consumo de água no período histórico (ICh)

O índice de consumo no período histórico de janeiro a dezembro de 2017, considerado um índice real, apresentou uma média de 809,53 L leito<sup>-1</sup>. O maior índice foi registrado no mês de junho chegando a 908,36 L leito<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e o menor no mês de janeiro com o valor de 611,63 L leito<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, como mostra o quadro 3:

Quadro 3 – Índice de consumo de água no período histórico

<b>Mês (2017)</b>	<b>Consumo mensal (m<sup>3</sup>)</b>	<b>ICh (L leito<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>
<b>Janeiro</b>	5745	611,63
<b>Fevereiro</b>	6720	792,08
<b>Março</b>	6676	710,74
<b>Abril</b>	7991	879,10
<b>Mai</b>	7216	768,23
<b>Junho</b>	8257	908,36
<b>Julho</b>	8150	867,67
<b>Agosto</b>	7792	829,55
<b>Setembro</b>	7342	807,70
<b>Outubro</b>	8088	861,07
<b>Novembro</b>	7676	844,44
<b>Dezembro</b>	7832	833,81
<b>Média</b>	7457,08	809,53

Fonte: Hospital 2018.

### 5.1.2 Índice de consumo estimado de água (ICe)

O agente consumidor considerado em edificações hospitalares é o número de leitos funcionantes, já que a população flutuante, muito maior que a população fixa de um hospital, é de difícil contabilização. Dessa forma, considerou-se como Na (número de agentes consumidores), o número de leitos cadastrados no hospital, um total de 303 leitos. Esse valor pode aumentar se, devido a condições de lotação estes leitos estiverem todos ocupados, outros leitos são disponibilizados temporariamente em corredores e até mesmo em salas médicas. Mas para a base de cálculos foi utilizado o valor fixo total de leitos, 303 leitos.

O valor de ICh foi obtido através da média de um valor encontrado na literatura (METCALF e EDDY, 1991; Buono, 2018), e o valor encontrado foi de 474 L leito<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Este valor será utilizado a seguir para o cálculo do desperdício diário de água estimado.

### 5.1.3 Desperdício diário de água estimado (DDe)

Como pode ser observado no quadro 4, o desperdício diário estimado apresentou média de 335,53L/leito dia. Esse desperdício dá-se devido ao mau uso dos equipamentos instalados no hospital ou até mesmo o descaso da população com

a gestão e economia de água. Nota-se que o mês que apresentou o maior índice de desperdício foi junho e o que apresentou menor índice foi janeiro.

Quadro 4 – Desperdício diário estimado de água ao longo do ano de 2017

<b>Mês (2017)</b>	<b>Ich (L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>ICe (L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>DDe (L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>
<b>Janeiro</b>	611,63	474	137,63
<b>Fevereiro</b>	792,08	474	318,08
<b>Março</b>	710,74	474	236,74
<b>Abril</b>	879,10	474	405,10
<b>Mai</b>	768,23	474	294,23
<b>Junho</b>	908,36	474	434,36
<b>Julho</b>	867,67	474	393,67
<b>Agosto</b>	829,55	474	355,55
<b>Setembro</b>	807,70	474	333,70
<b>Outubro</b>	861,07	474	387,07
<b>Novembro</b>	844,44	474	370,44
<b>Dezembro</b>	833,81	474	359,81
<b>Média</b>	809,53	474	335,53

Fonte: Hospital 2018.

#### 5.1.4 Índice de desperdício diário de água estimado (IDe)

O índice de desperdício diário de água estimado também é um valor estimado e representa a porcentagem de desperdício em relação ao consumo para o referido mês. A média de desperdício registrada foi de 41,45% para o ano de 2017. Como mostra o quadro 5:

Quadro 5 – Índice de desperdício diário de água estimado para o ano de 2017

<b>Mês (2017)</b>	<b>Ich (L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>ICe (L leite<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>IDe (%)</b>
<b>Janeiro</b>	611,63	474	22,50
<b>Fevereiro</b>	792,08	474	40,16
<b>Março</b>	710,74	474	33,31
<b>Abril</b>	879,10	474	46,08
<b>Mai</b>	768,23	474	38,30
<b>Junho</b>	908,36	474	47,82
<b>Julho</b>	867,67	474	45,37
<b>Agosto</b>	829,55	474	42,86
<b>Setembro</b>	807,70	474	41,31
<b>Outubro</b>	861,07	474	44,95

<b>Novembro</b>	844,44	474	43,87
<b>Dezembro</b>	833,81	474	43,15
<b>Média</b>	809,53	474	41,45

Fonte: Hospital.

#### 5.1.5 Índice de vazamentos (IV)

Durante as vistorias realizadas no hospital, foram encontrados 7 pontos de vazamentos em torneiras de um total de 413 torneiras, o que resultou em um índice de vazamento de 0,02%. Deve-se ressaltar que o departamento de manutenção funciona muito bem no hospital estudado e que muitas das instalações foram recém reformadas, passaram por pequenos reparos, ou trocadas por equipamentos mais modernos. Chuveiros e sistemas de esgotamento sanitário também foram vistoriados, porém não foram observados vazamentos em tais itens, e sim constatado um uso intenso ou mau uso. Portanto seria de suma importância a troca desses equipamentos por equipamentos economizadores, o que traria economia ao hospital.

#### 5.1.6 Índice de perdas (IPvol)

As perdas volumétricas devido a vazamentos, quebras ou defeitos em equipamentos hidráulicos representam o índice de perdas. Como não foram medidas as vazões dos vazamentos, foram utilizados valores encontrados na literatura como referência. OLIVEIRA (1999) propõe que torneiras com vazamento ao abrir podem apresentar uma perda de 4 a 8 L dia<sup>-1</sup>, e torneiras com gotejamento lento, podem apresentar uma perda de 6 a 10 L dia<sup>-1</sup>. Considerando-se que, dentre as 7 torneiras reconhecidas com presença de vazamento, 5 apresentavam gotejamento lento e 2, vazamento ao abrir, têm-se que o valor mínimo de perda seria de 38 L dia<sup>-1</sup> e o valor máximo seria de 66 L dia<sup>-1</sup>.

Desta forma, tem-se como o índice de perdas volumétricas visíveis no hospital estudado, os valores exibidos no quadro 6:

Quadro 6 – índice de perdas volumétricas visíveis no hospital no ano de 2017

<b>Mês (2017)</b>	<b>Consumo mensal (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Somatório da vazão de perdas observadas</b>	<b>Somatório da vazão de perdas observadas</b>	<b>Índice de perdas volumétricas</b>	<b>Índice de perdas volumétricas</b>
-------------------	---------------------------------------	--	--	--------------------------------------	--------------------------------------

		(m <sup>3</sup> /mês) – valor mínimo	(m <sup>3</sup> /mês) – valor máximo	visíveis – valor mínimo (%)	visíveis – valor máximo (%)
<b>Janeiro</b>	5745	1,18	2,05	0,02	0,04
<b>Fevereiro</b>	6720	1,06	1,85	0,02	0,03
<b>Março</b>	6676	1,18	2,05	0,02	0,03
<b>Abril</b>	7991	1,14	1,98	0,01	0,02
<b>Mai</b>	7216	1,18	2,05	0,02	0,03
<b>Junho</b>	8257	1,14	1,98	0,01	0,02
<b>Julho</b>	8150	1,18	2,05	0,01	0,03
<b>Agosto</b>	7792	1,18	2,05	0,02	0,03
<b>Setembro</b>	7342	1,14	1,98	0,02	0,03
<b>Outubro</b>	8088	1,18	2,05	0,01	0,03
<b>Novembro</b>	7676	1,14	1,98	0,01	0,03
<b>Dezembro</b>	7832	1,18	2,05	0,02	0,03
<b>Média</b>	7457,08	1,16	2,01	0,02	0,03

Fonte: Hospital.

Por meio da análise dos índices de consumo, pode-se observar que o hospital possui poucos problemas de vazamentos e manutenção, e tais problemas não apresentam importância significativa na problemática da minimização do consumo de água no hospital.

## 5.2 Consumo de água na lavanderia

O quadro 7 mostra a quantidade (kg) de roupas lavadas no hospital de janeiro a dezembro de 2017. Foram divididas entre roupas de sujidade leve, as que não possuem presença de sangue e roupa de sujidade pesada, com presença de sangue, e o valor total. Além, das médias diárias de roupas (kg) com base na quantidade exata de dias contidos no mês. As médias diárias também foram divididas entre roupas de sujidade leve, pesada e valor total.

Quadro 7: Valores descritivos da quantidade de roupas lavadas mensalmente no hospital e médias diárias para todo o ano de 2017.

Mês (2017)	Quantidade de roupas lavadas (kg/mês)			Média diária (kg)		
	Leves	Pesadas	Total	Leves	Pesadas	Total
Janeiro	41.480	20.360	61.480	1.338,06	656,77	1.994,84
Fevereiro	41.540	18.460	60.000	1.483,57	659,29	2.142,86

Março	50.300	23.780	74.080	1.622,58	767,10	2.389,68
Abril	46.420	22.600	69.020	1.547,33	753,33	2.300,67
Maio	51.310	22.530	73.840	1.655,16	726,77	2.381,94
Junho	50.660	21.015	71.675	1.688,67	700,50	2.389,17
Julho	49.500	21.210	70.710	1.596,77	684,19	2.280,97
Agosto	45.720	22.800	68.600	1.474,84	735,48	2.212,90
Setembro	44.820	21.560	66.380	1.494,00	718,67	2.212,67
Outubro	45.860	21.550	67.410	1.479,35	695,16	2.174,52
Novembro	47.350	19.460	66.810	1.578,33	648,67	2.227,00
Dezembro	44.160	18.980	63.140	1.424,52	612,26	2.036,77
Média	46.593,33	21.192,08	67.792,08	1.531,93	696,52	2.228,66

Fonte: Hospital.

De acordo com a empresa fabricante das máquinas de lavar instaladas na lavanderia do hospital, a quantidade de água consumida pelas máquinas varia de acordo com o nível de água utilizado em cada processo. O quadro 4 mostra essa variação para a máquina que possui capacidade de 200kg, em que foram efetuadas coletas de amostrar para análises. As máquinas de capacidade de 60 e 100kg possuem outras relações de consumo/nível de água, porém, seguem a mesma proporção (informações do fabricante) que a máquina de 200kg.

Quadro 8: Variação do consumo de água para cada nível utilizado pela máquina com capacidade de 200kg.

Nível da água	Consumo de água (L)
Baixo	600
Médio	800
Alto	1400

Fonte: Hospital.

### 5.3 Membrana de ultrafiltração

O efluente foi tratado com uma membrana de ultrafiltração em laboratório. Foram obtidos dados do antes e depois do processo, apresentados na tabela a seguir (Tabela 2):

Tabela 2 - Dados obtidos através da análise do efluente

	Efluente bruto	Efluente tratado
--	----------------	------------------

<b>Temperatura (°C)</b>	15,8	15,7
<b>pH</b>	11,28	11,32
<b>Condutividade elétrica (<math>\mu\text{S cm}^{-1}</math>)</b>	653,2	646,4
<b>Cor (uC)</b>	403	14
<b>Turbidez (NTU)</b>	58,5	4,35
<b>DQO (<math>\text{mg L}^{-1}</math>)</b>	414	262

Fonte: Autoria própria

Os valores de cor e turbidez apresentaram resultados satisfatórios após o tratamento, reduzindo em mais de 90% seu valor bruto. Os valores de DQO, estão acima do valor máximo permitido pelo Art. 19-A do Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, mostrando a necessidade de um pós-tratamento para que esse parâmetro fique dentro do limite máximo permitido pela legislação. O pH também está acima do valor máximo permitido, o correto seria estar entre 6,0 e 10,0.

O nitrogênio é um elemento extremamente importante na síntese de proteínas pelas plantas e pode vir a ser um fator limitante na produção de alimentos. Entretanto, o nitrogênio, como todo nutriente, pode causar problemas de superprodução de algas nos corpos receptores de estações de tratamento que não forem capazes de retirar ou, ao menos, reduzir a quantidade desse elemento. Nos efluentes, o nitrogênio pode aparecer de diversas formas, desde nitrogênio orgânico, amônia, até formas mais oxidadas como nitrito e nitrato (Reed, 1972; Paganini, 1997).

Nos efluentes domésticos brutos, as formas predominantes são o nitrogênio orgânico e a amônia. O nitrogênio orgânico corresponde a grupamentos amina. A amônia tem sua principal origem na ureia, que é rapidamente hidrolisada e raramente encontrada no efluente doméstico bruto. Estes dois, conjuntamente, são determinados em laboratório pelo método Kjeldahl, constituindo assim o denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK). A maior parte do NTK no efluente doméstico tem origem fisiológica. Segundo Eriksson et al., 2002, as concentrações de nitrogênio total na água cinza são mais baixas do que no efluente doméstico convencional.

Verlicchi et al. (2010) realizou extensa revisão bibliográfica abordando as características de efluentes de hospitais de diferentes tamanhos e países, e reportou um valor médio típico de nitrogênio em macropoluentes em efluentes hospitalares de  $4 \text{ mg L}^{-1}$ . Machado et al. (2012) realizou a caracterização do efluente bruto de uma lavanderia hospitalar localizada no Vale do Rio Pardo, onde as amostras foram coletadas diretamente na área de saída do efluente de uma das máquinas de lavar.



As coletas foram diferenciadas em enxague composto, pré-lavagem, lavagem, amaciamento e amostra composta. A coleta foi realizada em triplicata, e os valores médios de nitrogênio total para cada etapa correspondem, respectivamente, a: 12,1 mg L<sup>-1</sup>, 9,23 mg L<sup>-1</sup>, 3,13 mg L<sup>-1</sup>, 1,1 mg L<sup>-1</sup>, e 6,6 mg L<sup>-1</sup>.

Os valores de nitrogênio total encontrados neste estudo para os ciclos de lavagem efetuados na lavanderia hospitalar sem tratamento do efluente são apresentados na tabela 3:

Tabela 3 – Valores de Nitrogênio total para as amostras brutas

Amostra	Nitrogênio total (mg/L)
1	13,87
2	14,02
3	9,95
4	7,64
5	7,51
Média	10,6

Fonte: Autoria Própria.

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo determinado. O processo de lavagem em lavanderias desprende fibras de tecidos, de tamanhos variados desde trapos até fibras visíveis somente ao microscópio (Wollner et al., 1954). A análise de sólidos sem tratamento do efluente é apresentada na tabela 4:

Tabela 4 – Valores das análises de sólidos para as amostras brutas

Amostra	Sólidos Suspensos		Sólidos Suspensos
	Totais (mg/L)	Fixos (mg/L)	Voláteis (mg/L)
1	26	4	22
2	30	0	30
3	22	0	22
4	22	0	22
5	20	0	20
Média	24	0,8	23

Fonte: Autoria própria.

#### 5.4 Membranas comumente utilizadas para o MBR

No quadro a seguir (quadro 8) foram apresentados quatro sistemas de membrana utilizadas nos processos de MBR. A membrana escolhida foi a da RM 150 da Kubota pois atendia as características de vazão e qualidade do efluente, e os dados encontrados nos itens a seguir foram baseados nas especificações e dados da própria membrana.

Quadro 8 – Valores de referência de acordo com cada marca de membrana

	Kubota	Mitsubishi Rayon	Zenon	NoritX-flow
Capacidade de aeração da membrana	90-180	75-120	100(ciclo)	140
Ciclo (min)	8h ligada/2h descanso	20h/4h desligada	24h submersa	20h ligada/4h desligada
Normal		5-8	20	
Pico	8,3-12,5 32,5-42	20,3-30,6	35	15-20 50
Capacidade de aeração biológica (Nm <sup>3</sup> / h <sup>-1</sup> )	160	160	100	140
Taxa F/M	0,04-0,18	0,02-0,14	0,04-0,18	0,04-0,12
HRT (h)	10,2-15,4	15-22	7,6-12,3	15,2
SRT(d)	27-70	31-87	26-51	42-66
MLSS(g L <sup>-1</sup> )	10,5-12	8,9-11,6	10,4-11,2	-
Reagentes de limpeza química	NaClO, 0,5% Ácido oxálico 1%	NaClO, 0,5% Seguido de ácido	NaClO, 1% Seguido de 0,3% de ácido cítrico	NaClO, 0,5%
Dados derivados				
SAD <sub>m</sub> (Nm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> )	0,75	0,28-0,38	0,54	
SAD <sub>p</sub> (Nm <sup>3</sup> ar m <sup>-3</sup> permeado)	60-90 normal 18-23 pico	48-56 normal 12-14 pico	27 normal 15 pico	30-40 normal 12-16 pico
Permeabilidade média	200-250 vv	200 normal	200-250	250 normal
LMH/bar	500-800 vv	140-150 pico	320-350 após limpeza	75-200 pico
Declínio da permeabilidade ΔkΔt, LMH (limpeza)	1,5 <sup>h</sup>	0,39 <sup>h</sup>	20 <sup>h</sup>	-

Fonte: Adaptado de: Tabela 21 do The MBR Book, Judd 2006

#### 5.4.1 Determinando a demanda de ar específica

A demanda específica de ar com base na área da membrana (SADm) é definida como a taxa de fluxo de ar de lavagem por área da membrana. É necessário arejar a unidade de membrana para expelir os sólidos. Na maioria dos casos esse valor não é definido teoricamente, desta forma, a vazão de aeração é recomendado pelo fabricante da membrana.

O principal fator para a demanda de energia em sistemas submersos é a demanda específica de aeração, a relação de  $Q_a$  (taxa de aeração da membrana  $m^3 h^{-1}$ ) para área de membrana (SADm) ou volume permeado (SADp). Os cálculos foram baseados em Zaerpour (2013-2014) e em Metcalf e Eddy (2003)

$$SADm = \frac{Q_a}{A_m} \quad \text{Equação 7}$$

Onde  $Q_a$  é a taxa de aeração da membrana ( $m^3 h^{-1}$ ) e  $A_m$  é a área total da superfície da membrana ( $m^2$ ).

$$SADp = \frac{Q_a}{J * A_m} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

J: fluxo médio da membrana ( $L m^{-2} h^{-1}$ ).

O módulo de membrana escolhido foi a Kubota RM 150, e de acordo com a fabricante, varia de 0,18 a 0,60  $m^3$  de ar por  $m^2$  de área, o SADm escolhido foi de 0,29  $Nm^3 m^{-2} h^{-1}$ . Utilizando da equação 8 para calcularmos o molume permeado:

$$SADp = \frac{100 * \frac{0,29 Nm^3}{m^2 * h}}{12 \frac{L}{m^2 * h}} = 2,42 m^3 ar m^{-2} permeado \quad \text{Equação 9}$$

#### 5.4.2 Área requerida de membrana

Uma unidade de membrana Kubota, tem capacidade de 218 m<sup>2</sup> de área total, portanto, uma membrana já é o suficiente para o tratamento, possuindo uma folga significativa (Kubota Corporation, 2019).

#### 5.4.3 Capacidade necessária de limpeza de ar da membrana

Os requisitos de energia são de extrema importância e devem ser considerados em um sistema MBR. O consumo de aeração tem duas formas: energia/ar – para fornecer oxigênio para a remoção de nutrientes biológicos, e energia – para fornecer a limpeza da membrana, evitando assim o entupimento dos poros. A energia da limpeza de ar em um sistema MBR causa um contato turbulento e atinge grande parte da superfície da membrana a fim de protegê-la contra a sujeira.

A incrustação da membrana pode causar uma produção mais baixa, menor vida útil e um maior custo operacional. O declínio da permeabilidade associado à deposição de partículas na membrana é um grande problema na filtração por membranas.

Além disso, ao contrário da bomba de circulação, a limpeza do ar não produz tensão de cisalhamento extra, o que perturbaria o floco biológico. Conseqüentemente, a aspersão de ar é usada não apenas para membranas imersas, mas também para as membranas de fibras ocas alojadas em vasos de pressão.

Para determinar o fluxo de ar líquido necessário para o tratamento biológico, primeiro deve-se calcular a  $M_o$  (exigência de oxigênio para o tratamento biológico), calculado através da equação 10:

$$M_o (kd d^{-1}) = Q (S - S_e) - 1,42 P_{x, bio} + 4,33 Q NO_x - 2,86 Q(NO_x - No_e) \quad \text{Equação 10}$$

$$M_o = \frac{81,77 * (414 - 41,4)}{1000} - (1,42 * 4,5) + \left( \frac{4,33 * 81,77 * 8,48}{1000} \right) - \frac{2,86 * 81,77 * (8,48 - 2)}{1000} = \frac{25,56kg}{d}$$

Onde:

Q: vazão de efluente da lavanderia (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>);

S: DQO de saída (90% da DQO de entrada) ( $\text{mg L}^{-1}$ );

Se: DQO de entrada ( $\text{mg L}^{-1}$ );

P<sub>x,bio</sub>: massa de sólidos no reator biológico ( $\text{kg d}^{-1}$ );

NO<sub>x</sub>: biomassa devido a nitrificação ( $\text{mg L}^{-1}$ );

NO<sub>e</sub>: biomassa de saída (valor adotado = 2) ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

Portanto, o fluxo de ar líquido necessário para a aeração biológica é (equação 10):

$$Q_{a,b} = \frac{M_o}{\rho(SOTE_{fina} * Y_{fina})O * \alpha\beta\Phi} = \frac{25,56}{1,2 * 0,05 * 5 * 0,232 * 0,51 * 0,95 * 0,83}$$

$$= 913,23 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 634,2 \text{L/min} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$\rho$ : densidade do ar ( $\text{Kg m}^{-3}$ );

$SOTE_{fina}$ : padrão de eficiência de transferência de oxigênio, bolha de aeração fina ( $\% \text{ m}^{-1}$ );

$Y_{fina}$ : profundidade do aerador de bolha fina (m);

O: percentagem de massa de oxigênio no ar (%);

$\alpha$ : relação de transferência de massa de oxigênio no lodo com a água pura (adimensional);

$\beta$ : relação de transferência de massa de oxigênio dissolvido na operação com concentração de sólidos com a água pura (adimensional);

$\Phi$ : densidade de empacotamento da membrana ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-3}$ )

Os biorreatores de membrana submersa (MBRs) são frequentemente considerados os melhores para o tratamento de efluentes devido a sua tecnologia. A aeração desempenha um papel fundamental na transferência de massa na superfície da membrana. É crucial projetar o módulo de membrana que permite o uso eficiente do ar de lavagem, maximizando a transferência de massa entre os espaços internos da membrana. Portanto, se mal projetado, os sistemas de aeração podem afetar significativamente a capacidade de abertura dos poros de um sistema e aumentar a demanda de energia.

#### 5.4.4 Volume mínimo do tanque da membrana

A primeira etapa constitui a concepção da membrana. A partir das informações oferecidas pelo fabricante, foi determinada a área da membrana nas condições de pico e o volume mínimo do tanque de membrana (para Kubota RM 150):

$$Vm, \min(m^3) = \frac{Am}{\phi_{tanque}} = \frac{218 m^2}{115 \left(\frac{1}{m}\right)} = 1,9 m^3 \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$Am$ : área de membrana ( $m^2$ );

$\phi_{tanque}$ : densidade de empacotamento da membrana ( $m^{-1}$ ).

#### 5.4.5 Tempo de retenção de sólidos (SRT)

A cinética da oxidação da amônia é limitante em comparação com a cinética da oxidação do nitrito em sistemas de nitrificação operados em temperaturas abaixo de 28°C. Os projetos são baseados na saturação da oxidação da amônia como apresentado na equação 13, assumindo que o excesso de oxigênio dissolvido (OD) está disponível.

$$\mu n = \left( \frac{\mu_{nm} N}{K_n + N} \right) - k_{dn} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$\mu n$  = taxa de crescimento específico de bactérias nitrificantes, g novas células  $g^{-1}$  células $^{-1}$  d $^{-1}$ ;

$\mu_{nm}$  = taxa de crescimento específico máxima de bactérias nitrificantes, g novas células  $g^{-1}$  células $^{-1}$  d $^{-1}$ ;

$N$  = concentração de nitrogênio, g  $m^{-3}$ ;

$K_n$  = meia velocidade constante, concentração de substrato a metade do valor máximo específico da taxa de utilização de substrato, g  $m^{-3}$ ;

$k_{dn}$  = coeficiente de decaimento endógeno para organismos nitrificantes, gVSS  $g^{-1}$  VSS $^{-1}$  d $^{-1}$ .

Para o sistema de nitrificação de lodos ativados com mistura completa, a temperaturas abaixo de 25°C com OD suficiente, as taxas de nitrificação são afetadas pela concentração de OD do lodo ativado. Para explicar os efeitos do OD, a expressão para a taxa de crescimento específica descrito acima é modificada da seguinte forma (Equação 14):

$$\mu n = \left( \frac{\mu_{nm} N}{K_n + N} \right) \left( \frac{OD}{K_0 + OD} \right) - kdn \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

OD: concentração de oxigênio dissolvido ( $\text{g m}^{-3}$ );

K0: coeficiente de meia saturação para OD, ( $\text{g m}^{-3}$ ).

Outros termos a serem definidos anteriormente:

Encontrando  $\mu_{nm}$  para  $T = 15^\circ\text{C}$  (Equação 15):

$$\mu_{nm} = \left( \frac{0,4g}{g.d} \right) * 1,07^{15-20} = \frac{0,32g}{g.d} \quad \text{Equação 15}$$

Encontrando  $K_n$  para  $T = 15^\circ\text{C}$  (Equação 16):

$$K_n = \frac{0,4g}{m^3} * 1,053^{15-20} = 0,31 \frac{g}{m^3} \quad \text{Equação 16}$$

Encontrando  $kdn$  para  $T = 15^\circ\text{C}$  (Equação 17):

$$kdn = \frac{0,08g}{g.d} * 1,04^{15-20} = \frac{0,07g}{g.d} \quad \text{Equação 17}$$

Substituindo a fórmula e resolvendo por  $\mu n$  (Equação 18):

$$\mu n = \left( \frac{\frac{0,32g}{g.d} * \frac{10,6g}{m^3}}{\frac{0,31+10,6g}{m^3}} \right) * \left( \frac{\frac{1,5g}{m^3}}{\frac{0,5+1,5g}{m^3}} \right) - \frac{0,07g}{g.d} = 0,16 \frac{g}{g.d} \quad \text{Equação 18}$$

Foi adotado um limite baixo para oxigênio dissolvido (OD) de  $1,5 \text{ g m}^{-3}$ .

O controle do SRT em um sistema biológico aeróbio determina a taxa de degradação de substrato, a nitrificação, e a produção de lodos em excesso e a concentração da biomassa. O SRT é tipicamente baseado nos objetivos desejados para o tratamento. Contudo, algumas empresas têm indicado um requisito mínimo para o valor de SRT de 8 a 10 dias (WEF, 2012). Determinando o SRT teórico e operacional (Equação 19):

Teórico:

$$SRT = \frac{1}{\mu_n} = \frac{1}{\frac{0,17g}{g.d}} = 5,88d \quad \text{Equação 19}$$

Operacional (Equação 20):

$$Fator\ de\ segurança\ (FS) = \frac{TKN_{pico}}{TKN_{médio}} = 1,5 \quad \text{Equação 20}$$

$$SRT\ designado = FS * SRT\ teórico = 1,5 * 5,88 = 8,82d$$

#### 5.4.6 Cálculo da produção de biomassa

O projeto da instalação de manuseio de lodo e disposição/reutilização é baseado no lodo produzido pelos dados publicados de instalações similares. Se as instalações de manuseio de lodos são subdimensionadas, o desempenho do processo de tratamento pode ser comprometido. A fórmula para o cálculo da produção de lodo é dada pela equação 21, mostrada abaixo:

$$P_{X,vss} = \frac{QY(S_0-S)\left(\frac{1kg}{10^3g}\right)}{1+(kd)SRT} + \frac{(fd)kdQY(S_0-S)SRT\left(\frac{1kg}{10^3g}\right)}{1+(kd)SRT} + \frac{QYn(NOx)\left(\frac{1kg}{10^3g}\right)}{1+(kdn)SRT} + Q(nbVSS)\left(\frac{1kg}{10^3g}\right) \quad \text{Equação 21}$$

Dividindo para simplificar o equacionamento:



$$QY(S_0 - S) \left( \frac{1kg}{10^3g} \right) = 81,77 * 0,4 * (414 - 41,4) * \frac{1}{10^3} = 12,2 \text{ kg/d}$$

$$(fd)QY(S_0 - S)SRT = 0,15 * 0,088 * 81,77 * 0,4 * (414 - 41,4) * 8,82 * \frac{1}{10^3} = 1,42 \text{ kg/d}$$

$$1 + (kd)SRT = 1 + (0,088 * 8,82) = 1,78$$

$$1 + (kdn)SRT = 1 + (0,07 * 8,82) = 1,62$$

$$QYn(NOx) = 81,77 * 0,26 * 10,6 * \frac{1}{10^3} = 0,23 \text{ kg/d}$$

$$Q(nbVSS) = 81,77 * 6,9 * \frac{1kg}{10^3g} = 0,56 \text{ kg/d}$$

$$P_{x, bio} = \frac{12,2}{1,78} + \frac{1,42}{1,78} + \frac{0,23}{1,62} = 7,8 \text{ kg/d}$$

$$P_{x, vss} = P_{x, bio} + Q(nbVSS) = 7,8 + 0,56 = 8,36 \text{ kg/d}$$

$$P_{x, tss} = \frac{P_{x, bio}}{0,8} + P_{x, vss} + Q * (TSS - VSS) * \frac{1kg}{10^3g} = 18,19 \text{ kg/d}$$

Onde:

$P_{x,vss}$ : massa de sólidos suspensos voláteis;

$P_{x,tss}$ : massa de sólidos suspensos totais;

VSS: Sólidos suspensos voláteis =  $23g \text{ m}^{-3}$ ;

TSS: Sólidos suspensos totais =  $24g \text{ m}^{-3}$ ;

nbVSS: 30% da média de VSS =  $6,9g \text{ m}^{-3}$ ;

NOx: concentração de NTK oxidável ao nitrato, (remoção de 80% =  $10,6g \text{ m}^{-3}$ ).

#### 5.4.7 Volume do tanque aeróbio

O volume do tanque aeróbio pode ser calculado por meio da obtenção da massa de sólidos sendo aerada. Então, utilizando o MLSS aeróbio para converter essa massa para o volume ocupado de sólidos, obtém-se o volume aeróbio através da equação 22:

$$\text{Massa} = P_x(SRT)$$

$$X_{vss} * V = P_{x, vss} * SRT$$

$$Massa\ de\ MLVSS = \frac{8,36kg}{d} * 8,82d = 73,74\ Kg$$

$$Massa\ de\ MLSS = X_{tss} * V = P_{x, tss} * SRT = 18,19 * 8,82 = 160,44\ Kg$$

Onde:

MLVSS: sólidos suspensos voláteis no reator biológico (Kg);

MLSS: sólidos suspensos no reator biológico (Kg);

Considerando a densidade do MLSS: 8000 g m<sup>-3</sup>:

$$V_{aer} = \frac{Massa\ de\ MLSS * (\frac{10^3 g}{kg})}{8000g/m^3} = \frac{160,44 * 10^3}{8000} = 20,05m^3 \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

V<sub>aer</sub>: volume aeróbio (m<sup>3</sup>).

#### 5.4.8 Desnitrificação

A taxa de recirculação do lodo necessária para obter a concentração de nitrato desejada (NO<sub>e</sub>) é determinada pela equação 23:

$$r_{int} = \frac{NO_x}{NO_e} - 1 = \frac{8,48}{2} - 1 = 3,24 \quad \text{Equação 23}$$

A fração da biomassa ativa na zona anóxica (X<sub>b</sub>) leva em conta o *r<sub>int</sub>* e pode ser contrado pelo emprego da equação 24:

$$X_b = \left[ \frac{Q(SRT)}{V} \right] * \left[ \frac{Y(S_0 - S)}{1 + (kd)SRT} \right] * \left[ \frac{r_{int}}{r_{int} + 1} \right] = \frac{81,77 * 0,4 * (414 - 41,4) * 8,82}{20,05 + (0,088 * 8,82 * 20,05)} * \frac{3,24}{3,24 + 1} = \frac{2306,47g}{m^3} \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

Xb: fração da biomassa ativa na zona anóxica:  $g\ m^{-3}$ ;

A vazão do tanque anóxico é calculada na equação 25 e o volume do tanque anóxico na equação 27:

$$Q = Q * rint * NOx * \frac{1kg}{10^3g} = 81,77 * 3,24 * 8,48 * \frac{1kg}{10^3g} = 2,25 \frac{kg}{d}$$

$$vazão\ do\ tanque\ anóxico = \tau * Q + R * Q$$

$$Q_{an} = 2,76 * 2,25 + 0,6 * 2,25 = 7,6 \frac{m^3}{d} \quad \text{Equação 25}$$

Onde, R: taxa de lodo ativado de retorno.

Adotando o tempo de retenção hidráulica anóxica (0,125d) e determinando a relação comida/microorganismos (F/M) e a fração de CODbio (equações 26, e 28 respectivamente):

$$\tau = \frac{3h}{24h} = 0,125d \quad \text{Equação 26}$$

$$V_{anox} = \tau * Q = 0,125d * 81,77 \frac{m^3}{d} = 10,22\ m^3 \quad \text{Equação 27}$$

$$\frac{F}{Mb} \text{ em } g \frac{DBO}{gTSSd} = \frac{Q*S0}{V_{anox}*Xb} = \frac{81,77*414}{10,22*2306,47} = \frac{1,44g}{g.d} \quad \text{Equação 28}$$

Fração de rbCOD/bCOD (demanda química de oxigênio particulada total e demanda química de oxigênio biodegradável, respectivamente) adotada a  $0,3.g\ m^{-3}$ , Baseado na figura 8-23 pg 755 METCALF e Eddy (2003) a  $20^{\circ}C$ , a partir disso foi determinada a taxa de desnitrificação específica (SDNR15) através da equação 29:

$$SDNR15 = 0,03 * 1,026^{15-20} = 0,026 \frac{g}{g.d} \quad \text{Equação 29}$$

A capacidade de desnitrificação tem que ser maior do que a carga de nitrato inferida a partir da zona aeróbia por meio do fluxo de recirculação, a quantidade de nitrato que pode ser reduzida é calculada na equação 30:

$$NO_r = V_{anox} * SDNR * (MLVSS, biomassa) = 19,59 \frac{kg}{d} \quad \text{Equação 30}$$

### 5.5 Desinfecção por Ozônio

Mesmo após o tratamento do efluente, é possível que microrganismos como os vírus e patógenos possam ainda estar presentes no efluente, fazendo-se necessária a desinfecção e oxidação por algum processo de oxidação avançado (POA).

O uso do Ozônio tem sido pesquisado por autores como Hunt & Mariñas (1997), Lazarova et al. (1998), Corona-Vasquez et al. (2002) e John et al. (2005), e eles citam sua excelente eficiência na inativação de vírus, bactérias e protozoários, alcançando melhores resultados com menores demanda e tempo de contato que desinfetantes, como cloro, dióxido de cloro e cloraminas.

O Ozônio atua basicamente na oxidação dos elementos que constituem as paredes celulares dos microrganismos. Ao penetrar no interior dos microrganismos, também age sobre certos componentes essenciais (enzimas, proteínas, DNA e RNA). A destruição da célula ocorre quando parte de sua parede é rompida.

A maior vantagem na ozonificação é que com um período de meia-vida de poucos minutos, o ozônio na água é decomposto novamente em oxigênio. Além disso, o Ozônio tem 1,5 vezes maior poder de oxidação que o cloro e, dependendo da substância, é até 1500 vezes mais rápido na velocidade de desinfecção. A pressão parcial do Ozônio é inferior à do Oxigênio, sendo facilmente absorvido pela água (RAKNESS, 2005).

De modo geral, a ação do Ozônio é extremamente rápida e não seletiva (mata todos os microrganismos como: bactérias, fungos, bolores, vírus, etc.) com as características principais (LAPOLLI et al., 2003):

- Reduz metais às suas formas insolúveis (normalização);
- Destroi hidrocarbonetos por dissociação (quebra das cadeias);

- Solidifica (mineraliza) compostos orgânicos dissolvidos causando a sua coagulação e precipitação;
- O tempo de reação é tão reduzido que não há Ozônio residual remanescente na água.

## 5.6 Levantamento do custo de implantação

Uma análise custo-benefício é uma ferramenta para determinar as mudanças benéficas no projeto e operação, ela ajuda na tomada de decisões. Uma análise orçamentária básica para a implantação do sistema de reúso de água e a economia gerada por ele foi descrita:

### 5.6.1 Tanques de aeração, anóxico e de armazenamento

Para o tanque da membrana há uma necessidade pequena de volume, desta forma será utilizada a membrana dentro do tanque aeróbio, junto com um soprador industrial (aerador). Então será utilizado apenas um tanque de polietileno de 20m<sup>3</sup> para o funcionamento do MBR (Figura 3). Os tanques de armazenamento, também terão 20m<sup>3</sup>,(Figura 3) porém, serão utilizados 3 tanques para armazenar a água tratada.

Figura 3 – Tanque de polietileno de 20m<sup>3</sup>



Fonte: Leroy Merlin.

Para o tanque anóxico, será utilizado também um tanque de polietileno, porém, este de 10m<sup>3</sup> (Figura 4).

Figura 4 – Tanque de polietileno de 10m<sup>3</sup>



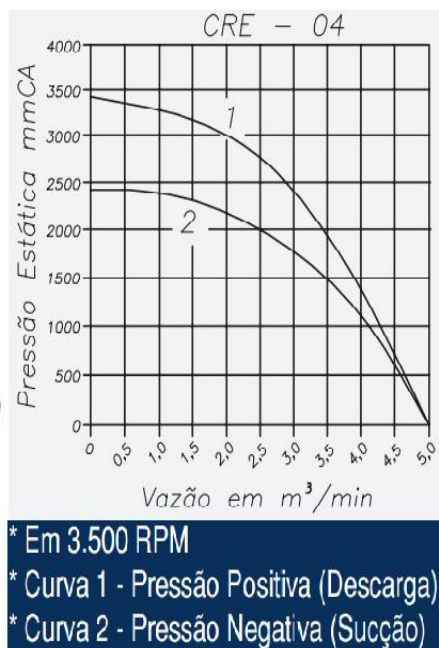
Fonte: Leroy Merlin.

### 5.6.2 Soprador Industrial

O soprador industrial orçado foi o compressor radial de modelo CRE-04 da AEROMACK, robustamente construído em alumínio fundido, diretamente acionado por um motor elétrico TFVE 4CV, 220/380/440 Volts, 60 HZ, 2 polos, IP 55, Classe F.

Este soprador opera a uma vazão de até 4,2m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>, com uma pressão (mmca) NEG.POS de 3400-2400, com potência de 4cv e nível de ruído de 84dBA (Figura 5).

Figura 5 – Soprador industrial CRE-04



Fonte: AEROMACK.

### 5.6.3 Membrana de ultrafiltração

A membrana de ultrafiltração orçada foi a Kubota RM 150 (membrana submersa) apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Membrana de ultrafiltração de submersão



Fonte: Kubota-MBR.

#### 5.6.4 Ozonizador

O ozonizador deve fornecer uma concentração de no mínimo  $20 \text{ mg O}_3 \text{ L}^{-1}$  que corresponde a um ozonizador (considerando o coeficiente de vazão horária de 1,5) de aproximadamente  $300 \text{ g O}_3 \text{ h}^{-1}$  da *Fujian Allied Power EnTech Company* com 3 HP, construído em estrutura inox. Pelo uso do ozonizador, torna-se desnecessária a cloração das águas de reúso, pois o ozônio é mais eficiente. Em anexo ao ozonizador, será adicionado ao projeto três tanques de  $20 \text{ m}^3$  para armazenar a água em que será feita a desinfecção, além de servir de reservatório pulmão.

Figura 7 – Ozonizador de  $300 \text{ g O}_3/\text{h}$



Fonte: *Fujian Allied Power EnTech Company* (2019)

#### 5.6.5 Bombas necessárias para funcionamento do Sistema

Bomba 1: bomba helicoidal da *Hebei Hoffwel Industrial Pump* (Figura 8), utilizada para retorno do efluente ao tanque anóxico com capacidade de transportar até  $3,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  de efluente, com potência de 0,5cv.

Figura 8 – Bomba Helicoidal Hoffwel Pump



Fonte: *Hebei Hoffwel Industrial Pump* (2019)



Bomba 2: bomba centrífuga *Schneider* modelo BC-92 de 2cv de potência, e capacidade de transportar até  $18\text{m}^3 \text{h}^{-1}$  de água.

Figura 9 – bomba centrífuga Schneider BC-92



Fonte: Schneider Motobombas (2019)

Bomba 3: bomba centrífuga *Schneider* Msa-21 com capacidade de transportar até  $64,9\text{m}^3 \text{h}^{-1}$  de água, e tem pressão máxima de 21 m.c.a., sua potência é de 7,5cv.

Figura 10 – Bomba Msa-21 Schneider



Fonte: Schneider Motobombas (2019)

#### 5.6.6 Laje Radier, materiais hidráulicos, e mão-de-obra

Foi orçada uma laje Radier para  $40 \text{m}^2$  no total, para suportar os tanques aeróbio, anóxico e de armazenamento. O cálculo do valor foi para o ano de 2008, o

valor será atualizado com o Índice Nacional de Custo de Construção (INCC) para o ano de 2019, também foi acrescentada uma perda de 50% nos materiais. A tabela 6 mostra os valores:

Tabela 6 – Materiais e custos para implantação da laje Radier

	Custo (Reais)
Forma para Laje Radier	112,40
Lona plástica	2.333,20
Armadura em aço CA-60	11.276,00
Concreto fck = 25MPa	37,2
Total (2008)	13.758,00
<b>Total corrigido, mais perdas (2019)</b>	<b>56.201,00</b>

Fonte: Autoria própria

A tabela 7, mostra os materiais necessários, tanto de água quanto de esgoto, para a instalação do sistema hidráulico, no total foi acrescentado 50% de perdas:

Tabela 7 – Materiais hidráulicos

	Custo (Reais)
20 curvas de 150mm	31,90 (cada)
10 flanges de 150mm	225,00(cada)
51 metros de tubo de 150mm	77,90 (a cada 3m)
18 metros de tubo de 100mm	36,90 (a cada 3m)
4 curvas de 100mm	21,90 (cada)
<b>Total</b>	<b>9.030,60</b>

Fonte: Autoria própria

Para a realização das obras, 2 encanadores trabalhando 8 horas ao dia, durante 30 dias de trabalho, foram calculados. Orçado em 20 R\$ h<sup>-1</sup> pessoa<sup>-1</sup>, teve-se que o custo total dos encanadores é de 9.600,00 Reais.

#### 5.6.7 Custo mensal de energia

O hospital se enquadra no subgrupo B3 – poder público de tarifa convencional, orçado em 0,55182 R\$ KWh<sup>-1</sup>, já somado de impostos para a vigência de a partir de junho de 2019. O custo de energia calculado para o correto funcionamento do sistema ficou em 3.814,53 R\$ mês<sup>-1</sup>.

## 5.6.8 Custo total de implantação do sistema MBR

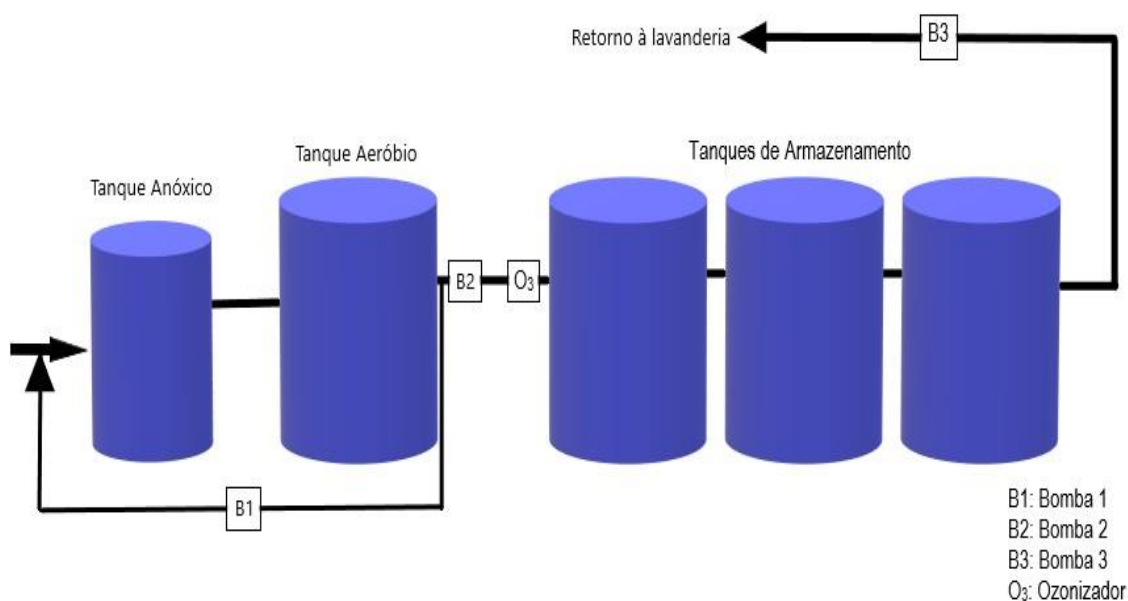
Tabela 7 - Custo de implantação do sistema MBR

Material	Preço (R\$ - junho 2019)
Tanque de polietileno de 10m <sup>3</sup>	4.210,90
4 x Tanque de polietileno de 20m <sup>3</sup>	36.883,60
Soprador CRE-04	4.536,00
Membrana Kubota RM 150	86.175,00
Ozonizador	57.231,00
Bomba 1	7.800,00
Bomba 2	1.196,00
Bomba 3	3.859,43
Laje Radier (40m <sup>2</sup> )	56.201,00
Materiais hidráulicos	9.030,60
Encanadores	9.600,00
<b>Total</b>	<b>276.726,53</b>

Fonte: Autoria própria

Através da tabela 7 é possível observar um custo de implantação de cerca de R\$ 276.726,53. Um custo alto de implantação, mas, uma vez comparado à quantidade de água a ser reutilizada, e a economia que isto proporcionará, é nítida a eficiência e a importância da implantação do sistema de MBR no hospital. A lavanderia hospitalar consome cerca de 81,77m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de água, este setor é responsável por cerca de 30% do consumo de água do hospital, acarretando num custo de aproximadamente R\$ 29.427,20 mensais.

Figura 11 – Sistema MBR a ser implantado



Fonte: autoria própria

Para o correto funcionamento do sistema, é necessária a realização de no mínimo uma purga dessa água tratada a cada 3 dias. Pois se a quantidade de sólidos dissolvidos no efluente for muito alta, pode danificar a membrana de ultrafiltração, fazendo o sistema menos eficiente, ou até mesmo inoperante. Na tabela 8, é apresentado os valores de tempo de retorno (Equação 31), para o sistema operando com uma purga a cada dia, uma purga a cada 2 dias, e uma purga a cada 3 dias:

Quadro 9 – Valores de tempo de retorno e economia mensal de acordo com as purgas

	Economia mensal (R\$)	Tempo de retorno (meses)
Purga a cada dia	3.542,27	101
Purga a cada 2 dias	7.956,35	39
Purga a cada 3 dias	11.878,99	25

Fonte: autoria própria

Os dados para o cálculo do período de retorno (equação 31) foram:

R – EL (economia mensal);

i (taxa de juros ao mês): 0,05%;

Investimento: 276.726,53.

$$INV = (R - EL) * \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} \right]$$

Equação 31

O retorno de capital está previsto para 25 meses quando a purga é realizada a cada 3 dias, 39 meses para quando a purga é realizada a cada 2 dias e, 101 meses para quando a purga é realizada diariamente.

### 5.7 Análise do sistema MBR

O processo de MBR é semelhante ao processo de lodos ativados convencionais, mas com uma eficácia maior. Por ser um sistema de fácil montagem, há a possibilidade de implantação e adequação no hospital. O reator é até 80% fisicamente menor que nos processos convencionais.

Uma das principais vantagens que a tecnologia de MBR tem mostrado é a elevada qualidade do efluente tratado, gerando assim um efluente para reúso de acordo com o decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Com ela, é possível trabalhar com substâncias mais recalcitrantes, como o material bacteriano. Outra vantagem do MBR é que ele tem uma maior degradação de poluentes, controle do tempo de retenção celular de forma independente do tempo de retenção hidráulica, plantas compactas e uma baixa produção de lodo.

O sistema proposto a ser instalado no hospital consiste em um tanque para o processo aeróbio de 20m<sup>3</sup> e um tanque para o processo anóxico de 10m<sup>3</sup>, um aerador e uma membrana de ultrafiltração submersa. O sistema de reservação terá 60 m<sup>3</sup> de volume, com processo de ozonização acoplado. Este sistema conseguiria tratar até 80% do efluente gerado através da lavanderia, e, portanto, seria viável a sua reutilização após a desinfecção por Ozônio para atingir padrões aceitáveis de reúso de água para lavanderia. O quadro 10 mostra a comparação de alguns parâmetros da água bruta com a água tratada pelo sistema MBR

Quadro 10 – Parâmetros analisados antes e depois do tratamento MBR

	Efluente bruto	Efluente tratado (MBR)
Temperatura (°C)	15-30	15-30
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	600-700	600-700
pH	11-12	9-10
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	414	<41,4
Nitrogênio Total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	10,6	<0,53

Fonte: Autoria própria

## 6 CONCLUSÕES

A tecnologia do tratamento de efluentes por MBR já vem sendo utilizada há mais de uma década pelo mundo, e está se tornando cada vez mais popular. A tecnologia MBR está sendo bem empregada e desenvolvida, mostrando resultados satisfatórios.

Quanto ao tratamento para reúso de água apenas pela membrana de ultrafiltração, a qualidade de água apresentou resultados insatisfatórios na redução de DQO solúvel e NTK. O sistema MBR permite uma redução de mais de 90% da demanda química de oxigênio e a diminuição de mais de 80% do nitrogênio total kjeldahl. Considera-se reduções significativas de mais de 90 % na cor aparente, turbidez e sólidos suspensos presentes no efluente.

O efluente tratado com complementação do ozônio poderia ser utilizado em diversos outros setores do hospital, como para a proteção contra incêndios, descarga sanitária, limpeza externa dos prédios e hospital, lavagem dos estacionamentos e ruas do pátio, além de servir também de irrigação de áreas verdes.

Um local que demanda uma grande quantidade de água é a própria lavanderia, este efluente tratado, pode ser utilizado no enxague das roupas sujas por exemplo, aquelas em que o sangue é predominante, assim, a água limpa seria utilizada apenas nos processos adjacentes, nos enxagues finais.

Utilizando esse efluente, é possível reutilizar cerca de 80% da água consumida na lavanderia, gerando uma economia de R\$ 3.500,00 a 11.800,00 ao mês. O período de retorno de um sistema MBR para lavanderia hospitalar proposta neste trabalho possui Cerca de 25 ou 39 meses, o que varia por causa das necessidades de purga do efluente.

A desinfecção por ozônio é mais eficiente e melhor recomendada do que o cloro, pois o efluente é gerado através de uma lavanderia hospitalar, com a possibilidade de presença dos mais diversos tipos de microrganismos.

Portanto, a implantação do sistema MBR seguido da desinfecção por Ozônio em lavanderias industriais é possível e viável tecnicamente.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd Ed. Washington: American Public Health Association. 1360p. 2012.

Buono, L. Nunes. **Diagnóstico de uso de água no hospital universitário de Londrina: estudo de caso**. Dissertação (pós-graduação em engenharia ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Acesso em 10 de maio de 2019.

Felizatto, M.R.; Nery, F.C.; Rodrigues, A.S.; Silva, C.M. (2016). **Water reuse for landscape irrigation and toilet flushing in Brasilia**, Brazil. Good practice examples and future research needs in Safe use of wastewater in agriculture workshop. United Nations University: UNU-Flores. 24-25 Fevereiro 2016. Lima, Peru.

ILHA, M.S.O.; NUNES, S.S.; SALERMO, L.S. **Programa de conservação de água em hospitais: estudo de caso do Hospital das Clínicas da Universidade Estadual de Campinas**.

Judd, S.; Judd, C. (2011) **The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment**. 2 ed. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann. Burlington, MA. 519p

LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L. F.; HÁSSEMER, M. E. N.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. **Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização**. In. GONÇALVES, R. F. (Coord.). Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidropônica. Vitória: PROSAB, 2003. P. 169-208.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment and reuse**. Mc Graw-Hill: Higher Education. Fourth Edition, 2003. 1819p.

MOURA, Camila. et al. **Processo de ultrafiltração e a sua aplicação em águas residuais**. 2014. 24 f. Dissertação de Mestrado integrado de Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia a Universidade de Porto, Portugal, 2014.

PAGANINI, W. S. (1997). **Disposição de Esgotos no Solo: (escoamento a superfície)**, São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP.

PAKULA, C., STAMMINGER, R., 2010. Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide. *Energy Effic.* 3, 365 e 382.

RAKNESS, K. L., (Ed). (2005). *Ozone in Drinking Water Treatment: Process Design, Operation, and Optimization*. 302p. American Water Works Association (AWWA). Disponível em

Reed, S. C. (1972). **Wastewater management by disposal on the land**. Hanover, New Hampshire, Corps of Engineers – U. S. Army, (Report, 171).

**RELATÓRIO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS.** Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO). Disponível em: <<http://www.unesco.org>>. Acesso em 16 de maio de 2019.

SAUTCHUK, C. Araujo. **Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2004. Doi:10.11606/D.3.2004.tde-13122004-145038. Acesso em 21 de maio de 2019.

SHANNON M, BOHN PW, ELIMELECH M, GEORGADIS JG, MARIÑAS BJ, MAYES AM: Science and technology for water purification in the coming decades. **Nature** 2008, 452:301-310.

TANIMOTO, A. H.; SOARES, P. S. Diagnóstico ambiental em lavanderia hospitalar usando a metodologia da Produção Mais Limpa. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.** 7p. Distrito Federal, Brasília, 2006.

TUCCI, C.A.M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O.M.C. **A gestão da água no Brasil:** uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025. GWP/SAMTAC. 167p. 2000.

VECCHIA, A. D.; et al. Diagnóstico sobre a situação do tratamento do esgoto hospitalar no Brasil, **Revista Saúde e Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 65-70, dez. 2009.

VERLICCHI, P., GALLETTI, A., PETROVIC M., BARCELÓ, D. (2010) Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **J Hydrol** 389:416-428.

YWASHIMA, L. A. **Avaliação do consumo de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo.** 2005. 312p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ZAERPOUR, M. **Design, Cost & Benefit Analysis of a Membrane Bioreactor.** Politecnico di Milano. Department of Environmental and Geomatic Engineering. Disponível em: <<https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/94842/5/2014-10-Zaerpour.pdf>> acesso em 25 de maio de 2019.