INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE CHORUME DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ

JEAN LUCAS DE SOUZA OLIVEIRA

Rio Verde, GO

2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE

CAMPUS RIO VERDE-GO

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE CHORUME DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ

JEAN LUCAS DE SOUZA OLIVEIRA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof(a). Me. Andriane de Melo Rodrigues

Rio Verde – GO

2022

Oliveira, Jean Lucas
OOL48a AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE CHORUME DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ / Jean Lucas Oliveira; orientadora Andriane de Melo Rodrigues. -- Rio Verde, 2022.
49 p.

TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Ecossistema. 2. água. 3. osmose. 4. chorume. I. Rodrigues, Andriane de Melo, orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO
PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
- ☐ Dissertação (mestrado)
- ☐ Monografia (especialização)
- ☑ TCC (graduação)
- ☐ Artigo científico
- ☐ Capítulo de livro
- ☐ Livro
- ☐ Trabalho apresentado em evento
- ☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor: Jean Lucas de Souza Oliveira

Matrícula: 2017102200740270

Título do trabalho:

AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE CHORUME DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☑ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 04 /08 /2022

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☑ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☑ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

· Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

• Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

• Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde — Local

03 /08 /2022 — Data

Jean Lucas de S. Oliveira

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Andriane de Melo Rodrigues

Assinatura do(a) orientador(a)

JEAN LUCAS DE SOUZA OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE CHORUME DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 23 de Junho de 2022 pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Bruno de Oliveira C. Couto
Instituto Federal Goiano – Rio Verde

Prof. Dr. Lucas Peres Angelini
Instituto Federal Goiano – Rio Verde

Prof.(a) Me. Andriane de Melo Rodrigues
Instituto Federal Goiano – Rio Verde

Rio Verde – GO

Junho, 2022

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 44/2022 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 23 de junho de 2022, às 19:00 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Andriane de Melo Rodrigues (orientadora), Lucas Peres Angelini (membro), Bruno Costa de Oliveira Couto (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "**AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE CHORUME DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ**" do estudante **JEAN LUCAS DE SOUZA OLIVEIRA** matrícula nº 2017102200740270 do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Andriane de Melo Rodrigues (orientadora)

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Lucas Peres Angelini (membro)

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Bruno Costa de Oliveira Couto (membro)

Membro

Observação:

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Bruno de Oliveira Costa Couto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/07/2022 17:15:43.
- **Lucas Peres Angelini**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/07/2022 17:11:31.
- **Andriane de Melo Rodrigues**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/07/2022 15:35:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/07/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 407600
Código de Autenticação: 0614f0819c

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado ao Deus soberano, criador de todas as coisas, que me acompanhou do início ao fim deste curso, suprindo todas as minhas necessidades físicas, mentais e espirituais. Deus este que me salvou e me transformou.

Dedico também a minha mãe que sempre me apoiou em todas as etapas, mulher guerreira, companheira, amorosa, protetora, humilde e minha grande incentivadora. A você mãe, todo meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, onipotente, onipresente e onisciente. Ao único digno de receber toda honra e gloria. Aquele que apesar da sua grandeza, tem cuidado de mim e me sustentado, mesmo sendo eu pequeno e falho.

Agradeço a minha família, especialmente minha mãe e meu irmão, pois vocês são a minha base e meu conforto em todos os momentos. Sem vocês, com certeza essa caminhada seria difícil.

Agradeço a minha noiva, por ter me fortalecido e auxiliado.

Agradeço a minha orientadora, professora Andriane de Melo Rodrigues, que caminhou comigo de perto para que hoje eu chegasse até aqui.

Agradeço aos meus amigos que tornaram este período mais leve e divertido.

RESUMO

O lançamento irregular do chorume no meio ambiente acarreta grandes problemas para a saúde humana e para o ecossistema. Diversas tecnologias de tratamento vêm sendo estudadas e aplicadas no tratamento desse lixiviado como é o caso do sistema de separação por membranas de osmose inversa, que tem mostrado resultados importantes na remoção de íons e substâncias orgânicas de baixa massa molecular, atendendo aos padrões de qualidade da água estabelecidos pela legislação ambiental vigente no Brasil. Portanto, o presente estudo buscou avaliar a eficiência dessa tecnologia no Centro de tratamento de resíduos sólidos do município de Campos dos Goytacazes (CTR-CAMPOS), localizado no estado do Rio de Janeiro, através da análise dos parâmetros de qualidade do chorume bruto e tratado produzido no aterro sanitário e monitorados mensalmente por 5 meses. O cobre apresentou uma rejeição de 94% a 96% nos meses de julho a outubro, no mês de novembro foi atingido o limite de quantificação do método tanto no chorume bruto, quanto no chorume tratado. O presente estudo demonstra que o tratamento do chorume por membranas de osmose inversa no CTR-CAMPOS apresentou uma rejeição considerável de substâncias químicas tóxicas, respeitando os valores exigidos pela Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011. Podendo assim ser usado para e irrigação do aterro e lançamento em corpos hídricos sem que cause grandes impactos negativos ao meio ambiente.

Palavras-chave: ecossistema, água, osmose, chorume.

ABSTRACT

The irregular release of slurry into the environment causes major problems for human health and the ecosystem. Several treatment technologies have been studied and applied in the treatment of this leachate, such as the reverse osmosis membrane separation system, which has shown important results in the removal of ions and low-molecular-mass organic substances, meeting the quality standards of established by the environmental legislation in force in Brazil. Therefore, the present study sought to evaluate the efficiency of this technology at the Solid Waste Treatment Center in the municipality of Campos dos Goytacazes (CTR-CAMPOS), located in the state of Rio de Janeiro, through the analysis of the quality parameters of raw and treated leachate. produced in the sanitary landfill and monitored monthly for 5 months. Copper presented a rejection of 94% to 96% in the months of July to October, in the month of November the limit of quantification of the method was reached both in the raw leachate and in the treated leachate. The present study demonstrates that the treatment of slurry by reverse osmosis membranes at the CTR-CAMPOS showed a considerable rejection of toxic chemical substances, respecting the values required by CONAMA Resolution No. irrigation of the landfill and release into water bodies without causing major negative impacts to the environment.

Key words: ecosystem, water, osmosis, slurry.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
2 REVISÃO DE LITERATURA 9
2.1 Separação Por Membranas Para Tratamento de Efluentes 9
2.1.1 Membranas de osmose inversa 12
2.1.2 Filtração cross-flow 13
2.1.3 Tipo de membrana 14
2.2 Aspectos Gerais de um Aterro Sanitário 15
2.2.1 O chorume 16
3 MATERIAIS E MÉTODOS E RESULTADOS ESPERADOS 18
3.1 Descrição Técnica do Sistema de Osmose Inversa 20
3.1.1 Tecnologia do Sistema de Osmose Inversa 20
3.2 Descrição do Processo de Tratamento 22
3.2.1 Pré-filtração 23
3.2.2 Dosagem de químicos 23
3.2.3 Etapas do sistema de membranas 24
3.2.4 Vida útil das membranas 24
3.2.5 Limpeza do sistema 25
3.2.6 Sistema de controle e comando 25
3.2.7 Dados de Operação da Osmose Inversa 26
3.3 Armazenamento das Amostras para Análise 26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 27
4.1 Resultados das Amostras de Chorume Bruto e Tratado/Permeado 28
5 CONCLUSÃO 43
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 44

1 INTRODUÇÃO

A geração exacerbada de resíduos sólidos é uma das características mais notáveis da atual sociedade. Isso ocorre porque aliado ao crescimento da população, urbanização e desenvolvimento econômico, está o consumo de bens e mercadorias, que ao se tornarem obsoletos acabam sendo descartados. A produção em larga escala de tais produtos requer a exploração de recursos naturais, gerando também resíduos ao longo do processo produtivo.

A gestão e manejo dos resíduos sólidos, portanto, tem sido alvo de grandes discussões ao longo dos anos. Segundo o relatório de 2020 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), há certa complexidade no assunto mediante às diretrizes e métodos a serem seguidos no gerenciamento dos resíduos sólidos e, para tanto, tem sido uma temática abordada ao redor do mundo, e também ressaltada no Brasil.

Isto posto, no decorrer dos anos, diferentes tecnologias foram desenvolvidas a fim de destinar os resíduos sólidos de forma ambientalmente adequadamente, sendo os aterros sanitários o método mais utilizado em território brasileiro. De acordo com este mesmo relatório, no Brasil, cerca de metade dos resíduos sólidos urbanos ainda são destinados de forma inadequada em lixões, devido à falta de investimento público nos serviços de gerenciamento dos resíduos sólidos.

Os aterros sanitários encontram-se entre as tecnologias de melhor custo de implantação e operação. Segundo estudos da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE, 2018) seu custo *per capta* é estimado em R$ 2,60. Porém, esse método de disposição final necessita de áreas relativamente grandes, o que tem sido um dos problemas encontrados em grandes centros urbanos. Além disso, os aterros sanitários acabam por receber todo o resíduo urbano, apesar de a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12 de Fevereiro de 1998), deixar claro que os aterros devem receber apenas os rejeitos, ou seja, os resíduos aos quais não são possíveis reciclar ou reaproveitar.

Os resíduos recicláveis uma vez encaminhados aos aterros, reduzem sua vida útil por não serem biodegradáveis e por serem volumosos, além disso, há prejuízo econômico, devido aos municípios e as cooperativas de catadores perderem a oportunidade de arrecadarem recursos financeiros com a venda dos resíduos recicláveis. Quanto aos resíduos não inertes, biodegradáveis, a principal problemática provocada no aterro é a geração de efluente líquido derivado da decomposição dos resíduos orgânicos (chorume) e a geração de gases estufa, que geralmente não são reaproveitados para a geração de energia.

O chorume se lançado de maneira inadequada no solo ou em corpos d'água pode acarretar problemas ambientais, tais como a poluição de mananciais hídricos e aquíferos, impossibilitando ou dificultando: o posterior uso do solo na agricultura; da água no abastecimento urbano e industrial; e da pesca, devido a mortandade dos peixes. Uma vez que além do alto teor de matéria orgânica, o chorume pode conter a presença de metais pesados, hormônios e outras substâncias químicas potencialmente tóxicas aos seres vivos.

Com base na gravidade dos impactos gerados pelos aterros sanitários a norma NBR 8419/1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece parâmetros para a construção e operação de um aterro sanitário, incluindo um sistema de coleta, drenagem e tratamento de lixiviados gerados. Os impactos ambientais provocados pelo chorume podem ser minimizados por meio da aplicação de métodos de tratamento eficientes, ou pelo uso de tecnologias de tratamento avançado de água, no entanto, não é o que comumente ocorre.

Visto que a maioria dos processos primários de tratamento não são eficientes na remoção total dos contaminantes presentes no chorume, é de suma importância seu pós-tratamento. Dentre os métodos avançados de tratamento encontra-se o sistema de separação por membranas filtrantes, que tem alcançado padrões de potabilidade em conformidade com a legislação ambiental, visto que esse processo reduz cerca de 99,5% dos sólidos presentes, além de ocupar uma área superficial relativamente pequena quando comparado a outras tecnologias de tratamento (NÓBREGA, 2016).

Com base na eficiência das membranas, neste trabalho, pretende-se avaliar um sistema de membranas de osmose inversa adotado para o tratamento do chorume bruto. De acordo com Soares et al (2017) após a utilização desse processo os padrões estabelecidos pela CONAMA Nº 430/2011 foram atendidos quase que integralmente em todas as campanhas realizadas.

O sistema de osmose inversa foi empregado em alguns países para a retirada de sais das águas marinhas, possibilitando assim que ela se torne apropriada para consumo. O processo consiste em fazer com que a água sob alta pressão passe através de uma membrana semipermeável, que por sua vez retém os sais dissolvidos presentes (MOREIRA, et al, 2018). Essa tecnologia passou a ser adotada para o tratamento de esgoto doméstico/industrial por ser altamente eficiente na remoção de micro poluentes e contaminantes, sendo assim utilizada em aterros sanitários com a mesma finalidade.

A utilização do método de osmose inversa para o tratamento do chorume em aterros sanitários vem conquistando seu espaço no Brasil, sendo encontrados no centro-oeste, norte-fluminense e nordeste. Com base nisso, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência

do processo no Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTR) do município de Campos dos Goytacazes – RJ.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Separação Por Membranas Para Tratamento de Efluentes

O tratamento de efluentes exige a utilização de tecnologias de alta eficiência para que os parâmetros estabelecidos na legislação vigente sejam respeitados. Entre os métodos de tratamento existentes, a separação por membranas tem fornecido resultados bastante satisfatórios em relação a remoção de sais, toxinas, microrganismos, orgânicos dissolvidos e outros parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais.

O aumento da utilização dos processos de separação por membranas tem como razão principal o aumento das restrições e normas sobre a qualidade da água para abastecimento (EPA, 2003; JACANGELO et al., 1997). Entre os métodos de utilização de membranas que permitem alcançar resultados expressivos em relação aos parâmetros pré-estabelecidos pela legislação, podem ser citados a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI).

Para a rejeição de solutos encontrados na faixa de tamanhos moleculares e iônicos são utilizadas membranas de OI e NF por serem eficientes na remoção de contaminantes em escalas menores que 0,001 μm, enquanto membranas de UF apresentam sua eficiência em escalas de 0,001 a 0,10 μm e MF 0,1 a 5 μm, sendo utilizadas assim para remoção de bactérias, vírus, partículas coloidais, bactérias e sólidos suspensos (DURANCEAU e TAYLOR, 2011; HABERT et al., 2006). Um fator primordial para o processo de utilização desses tipos de membranas é a pressão empregada no processo, que, segundo Bergman (2005), as faixas de pressões necessárias para o funcionamento eficiente de cada modelo de membrana são de 25 a 42 (bar) para osmose inversa, 3,5 a 10,5 (bar) em nanofiltração, 0,2 a 3,5 (bar) na ultrafiltração e por fim 0,07 a 0,8 (bar) na microfiltração.

Portanto, como a membrana é capaz de reter as impurezas do efluente a ser tratado, todo o material que possui tamanho maior que o poro da membrana será retido por exclusão de tamanho. No entanto, o acúmulo de impurezas na superfície da membrana fará com que ela perca rendimento, passando por um processo de incrustação. Nesse caso, há redução do fluxo de água produzida (permeado) e perda de carga ao longo do tempo, podendo levar a diminuição de sua eficiência. Com base nesse fato, as incrustações que ocorrem nas membranas se tornaram

um dos principais problemas para a aplicação desse tipo de tratamento (VIGNESWARAN et al., 2012).

O "*fouling*", como é chamado o processo de incrustação nas membranas, tem sido considerado o principal problema na operação de sistemas de Osmose Inversa. Para a prevenção dessas incrustações biológicas, o método recomendado é a administração contínua de água e cloro, ou, segundo orientação da maioria dos fabricantes, hidróxido de sódio, que pode ser utilizado em substituição ao cloro. Isso porque algumas dessas membranas podem ser degradadas na presença do mesmo, como é o caso das membranas feitas de poliamida. Portanto, é muito importante a instalação de um sistema eficiente de pré-tratamento, pois está diretamente relacionado ao aumento da vida útil das membranas, que por sua vez não vão apresentar entupimentos prematuros, ou necessitar de limpezas químicas frequentes e, consequentemente será evitado a perda de capacidade de filtração (NÓBREGA, 2016).

O Quadro 1 define a aplicação de alguns processos que utilizam membranas, podendo ser utilizado como ponto de partida para a determinação preliminar de quais processos se aplicam aos objetivos do tratamento a ser realizado (BERGMAN, 2005).

Quadro 1 – Aplicações típicas de processos de membrana (BERGMAN, 2005)

Processo	**Aplicação**
Osmose inversa e eletrodiálise	Redução total de sólidos dissolvidos Dessalinização de água do mar (RO favorecido) Dessalinização de água salobra (RO é normalmente mais econômico do que ED ou EDR para maior que aproximadamente 1.000-3.000 mg / L TDS) Dessalinização de água salobra de águas com alto teor de sílica (ED e EDR são favoráveis) Remoção de íons inorgânicos Flúor, cálcio e magnésio (dureza) Nutrientes (nitrato, nitrito, amônio, fosfato) Radionuclídeos (apenas RO) Outros listados nos regulamentos de água potável Remoção de orgânicos dissolvidos (apenas RO) Precursores de DBP e muitos pesticidas DBPs, produtos químicos

	orgânicos sintéticos (SOCs) Muitos constituintes de preocupação emergente (produtos farmacêuticos e componentes de produtos de cuidados pessoais) Cor
Nanofiltração	Remoção de dureza Remoção de orgânicos dissolvidos THMs, outros precursores de DBP Pesticidas (SOCs) Cor
Ultrafiltração e microfiltração	Remoção de partículas Sólidos em suspensão Coloides Turbidez Bactérias Vírus (apenas UF; MF pode remover alguns vírus se eles estiverem ligados a partículas maiores) Cistos de protozoários Remoção de orgânicos (dissolvido remoção de orgânicos por UF apenas; dependente do tamanho do peso molecular dos orgânicos e do tamanho dos poros da membrana UF; no entanto, MF e UF podem remover orgânicos dissolvidos se coagulantes ou carvão ativado em pó é usado a montante da barreira da membrana) Remoção de produtos químicos inorgânicos (após precipitação química ou ajuste de pH) Fósforo Dureza Metais (por exemplo, ferro, manganês, arsênico)

Para selecionar o modelo de membrana que atenda a finalidade do tratamento, é preciso identificar as metas gerais do projeto e também definir seus objetivos. Deve ser levado em consideração alguns fatores, como por exemplo, o modelo que permita o menor custo geral possível no ciclo de vida do projeto, a qualidade da água, que ao ser tratada deve ser comparada com a meta de qualidade da água que se pretende obter, para determinar o grau de remoção necessário de cada constituinte. Também devem ser considerados os poluentes removidos nos processos de pré-tratamento e pós tratamento, e dados históricos atuais e futuros de qualidade da fonte de água (BERGMAN, 2005).

2.1.1 Membranas de osmose inversa

A osmose inversa foi desenvolvida há 200 anos, a partir da descoberta de que o material natural presente na parede celular de vegetais apresentava permeabilidade à água, possibilitando a retenção da passagem de materiais nela dissolvidos. Esse processo foi empregado com o objetivo de dessalinizar a água do mar. Entre as décadas de 1960 a 1970 começou a ser utilizado em indústrias leiteiras e, se expandiu para outros tipos de indústrias alimentícias (FERRARO, 2008).

A osmose é um processo que ocorre de forma espontânea na natureza, onde uma solução menos concentrada (potencial químico alto) é transferida para uma solução mais concentrada (potencial químico mais baixo), através de uma membrana plasmática encontrada dentro da célula. O processo de osmose inversa como próprio nome já diz, inverte o sentido do fluxo. Através da aplicação de uma pressão maior do que a pressão osmótica natural, com a aplicação desse método, os solutos (contaminantes) são retidos pelas membranas permitindo apenas a passagem do solvente (água pura), obtendo assim uma água ultrapura. O processo completo utilizado para o tratamento de água permite a remoção de 99% de todos os íons presentes, a maior parte dos contaminantes orgânicos, remove 99% dos vírus, bactérias e coloides (GERVASONI, 2017).

As membranas utilizadas no processo de osmose inversa são desenvolvidas visando sua durabilidade e eficiência. Alguns modelos podem ser citados como: acetato de celulose, poliamidas aromáticas-aramidas, poliamidas hidrazidas, poliamida de composição avançada e polisulfonas. Dependendo do material que essas membranas são desenvolvidas, os parâmetros operacionais do sistema de tratamento devem ser ajustados. Caso o material das membranas seja de acetato de celulose recomenda-se a utilização em pH que esteja entre 1,5 e 7,0, com limite de temperatura de 50ºC, já nas membranas de poliamida devem ser utilizadas em pH de 4,0 a 11,0 em temperaturas de até 46ºC (FERRARO,2008).

Para o tratamento do efluente, o processo de membranas o divide em dois fluxos: o permeado/filtrado e o concentrado, que contém as substâncias removidas após serem rejeitadas pela barreira da membrana. Como já foi citado, para que o processo de separação por membrana ocorra de maneira efetiva, é necessário que seja aplicada alta pressão através de uma fonte pressurizada com as membranas instaladas em vasos de pressão, ou através de um vácuo parcial na corrente de fluxo do filtrado, utilizando um sifão de gravidade ou uma bomba de pressão (BERGMAN, 2005). Quando a pressão hidráulica aplicada for superior a pressão osmótica que equilibra o processo, o fluxo de água através da membrana mudará seu sentido, fazendo o

oposto do processo natural. Por isso, esse método é chamado de osmose inversa, exemplificado na Figura 1.

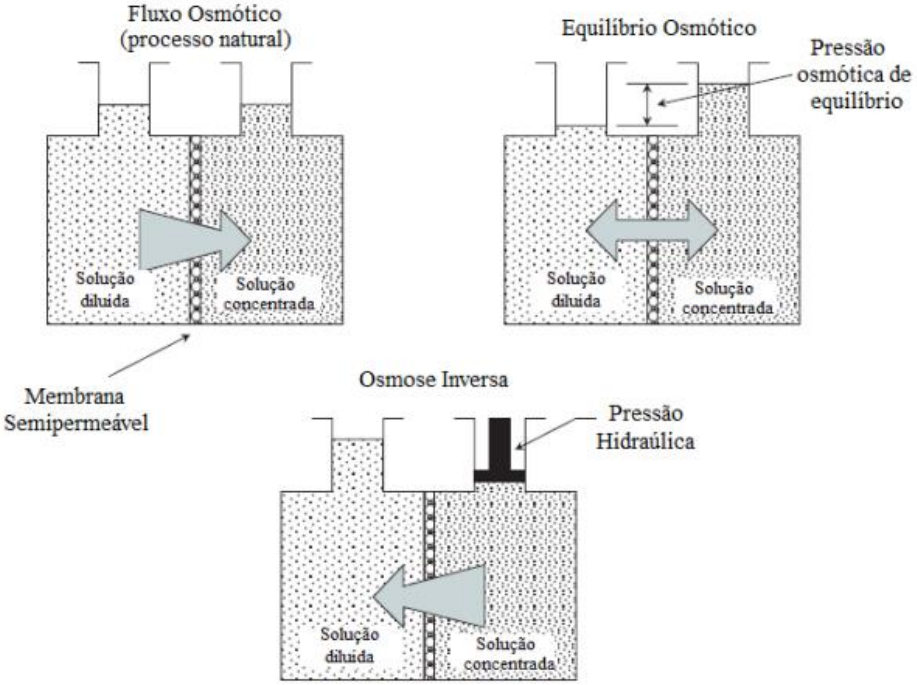

Figura 1 – Princípios do fluxo osmótico (MIERZWA, 2006).

Em resumo, na osmose, processo físico-químico primordial para o funcionamento celular, a água movimenta-se de um meio hipotônico para um meio hipertônico através de uma membrana semipermeável, de modo que ambos se tornem isotônicos. Já na osmose inversa, uma pressão externa superior à pressão osmótica natural, faz com que ocorra a inversão do fluxo da água, ou seja, de uma solução com alta concentração para uma região de baixa concentração de solutos (CUNHA et al. 2014; CHAMON, 2011).

2.1.2 Filtração cross-flow

O processo de membrana utilizado nesse sistema é baseado na filtração dinâmica por "cross flow" (Figura 3), onde o volume do líquido que passa pela membrana filtrante é constante, evitando o acúmulo de partículas na superfície da membrana, como ocorre na filtração clássica (Figura 2).

Figura 2 – Filtração clássica (MANUAL AST, 2014)

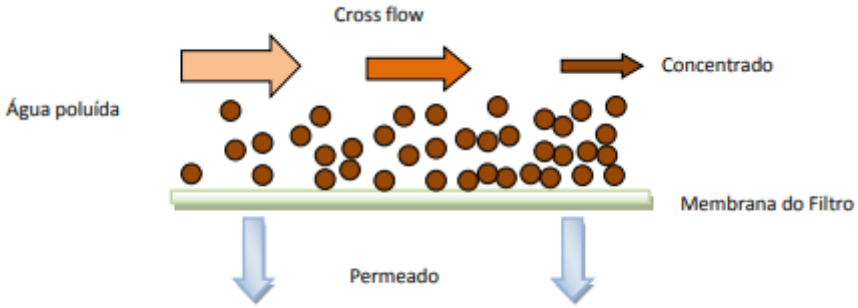

Figura 3 – Filtração *cross flow* (MANUAL AST, 2014)

O método de filtração por cross-flow separa o líquido em dois efluentes, o permeado e o concentrado. A relação entre os dois efluentes é utilizada como indicador da eficiência de separação.

2.1.3 Tipo de membrana

O modelo de membrana utilizado foi a espiral do tipo “wide-space”, que permite a melhor relação superfície de membranas/espaço. A membrana espiral é formada por “colagem” (Figura 4) das folhas das membranas entorno de um tubo perfurado, criando um espaço em forma de envelope, facilitando a passagem do permeado.

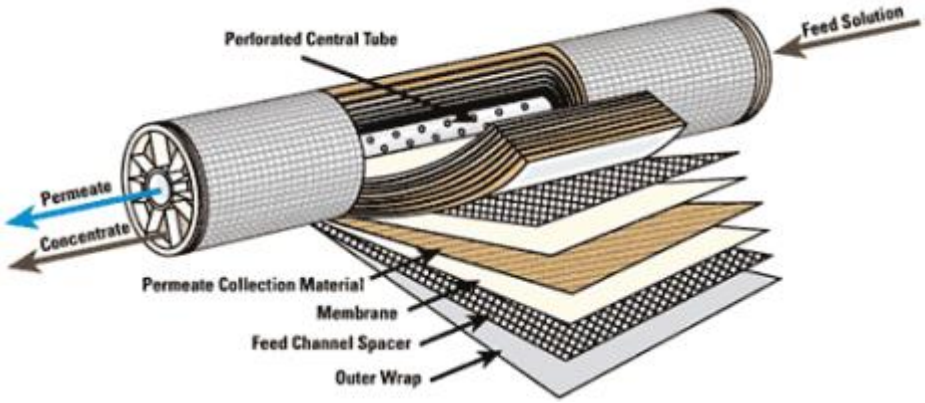

Figura 4 – Modulo espiral (MANUAL AST, 2014)

O material utilizado na superfície da membrana é Poliamida com alta resistência mecânica e química. Esse tipo de membrana também é de alta rejeição de sais, proporcionando uma qualidade melhor de permeado.

2.2 Aspectos Gerais de um Aterro Sanitário

Atualmente, a destinação final de resíduos sólidos e rejeitos de uma sociedade altamente consumista é direcionada em grande parte aos aterros sanitários. Esses resíduos por sua vez, caso não sejam alojados de maneira ambientalmente adequada, podem gerar grandes danos ambientais. De acordo com Albuquerque (2011) "um aterro sanitário é definido como aterro de resíduos sólidos urbanos, ou seja, adequado para a recepção de resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios. " Corroborando com a ideia, Fiorillo (2011) afirma que "aterros sanitários são os locais especialmente concebidos para receber lixo e projetados de forma a que se reduza o perigo para a saúde pública e para a segurança".

Para uma definição completa sobre os aterros sanitários, a NBR 8.419/1992 traz a seguinte afirmação:

> "Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário."

Diante disso, pode-se afirmar que, não é possível separar a vida em grandes regiões urbanas com alto nível de consumismo e a geração exacerbada de resíduos sólidos. Este é um problema que tem crescido ano após ano, exigindo assim políticas públicas que minimizem ou busquem soluções ambientalmente aceitáveis, até que sejam desenvolvidas novas tecnologias que tragam resultados mais satisfatórios (PORTELLA, 2014).

Portanto, os aterros sanitários são formados por técnicas sanitárias que visam a minimização dos impactos ambientais provenientes dos resíduos sólidos, encontradas na NBR 8.419/1992. Dentre essas técnicas, podem ser citadas a impermeabilização do solo, cobertura diária e compactação dos resíduos, coleta e tratamento de gases, controle de vetores, a fim de evitar a contaminação do lençol freático e tratamento adequado do chorume.

Contudo, embora os aterros sanitários tragam uma solução para a disposição final dos resíduos sólidos, esse método apresenta algumas limitações. Pode ser destacado o fato de receber uma quantidade gigantesca de resíduos que poderiam ser associados à coleta seletiva com destinação final a reciclagem, o que aumentaria consideravelmente a vida útil do aterro, além de promover a educação ambiental, desenvolvendo uma consciência ecológica na sociedade (PORTELLA, 2014).

2.2.1 O chorume

Os locais de disposição e despejo dos resíduos sólidos (lixões, aterros controlados e aterros sanitários) não devem ser consideradas como o ponto final para as várias substâncias presentes nos resíduos ali lançados, pois quando a água – principalmente proveniente das chuvas – infiltra através desses resíduos, as substâncias ali encontradas, orgânicas e inorgânicas, são carreadas pelo chorume, líquido escuro formado por grandes concentrações de compostos orgânicos e inorgânico (SANTOS, 2006).

A composição físico-química do chorume é muito variada, pois depende de vários fatores como condições pluviométricas locais, tempo de disposição dos resíduos e características do próprio lixo, conforme Tabela 1. O chorume pode contar com altas concentrações de metais pesados, sólidos suspensos e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas, como gorduras, proteínas e carboidratos. Como o chorume apresenta substâncias com uma taxa muito alta de solubilidade, elas podem escorrer atingindo corpos hídricos superficiais e infiltrando, consequentemente, águas subterrâneas, fazendo com que fiquem comprometidas para uso (CELERE, 2007).

Para conter os impactos gerados pelo chorume no meio ambiente, algumas técnicas desenvolvidas para tratamento de rejeitos industriais foram empregadas. Alguns métodos tradicionais podem ser citados, tais como processos biológicos aeróbio e anaeróbico, e alguns processos físico-químicos. Contudo, a capacidade de determinados microrganismos para degradar substâncias orgânicas tóxicas é bem limitada, uma vez que podem sofrer paralisação do seu metabolismo com as variações de pH ou de cargas tóxicas, fazendo com que o método

de tratamento não apresente resultados satisfatórios, além disso, há grande dificuldade no controle da população de microrganismos e na necessidade de um longo tempo para que os efluentes cheguem a padrões aceitáveis.

Tabela 1 – Composição dos lixiviados de aterros sanitários, valores em faixa.
(Fonte: CHRISTENSEN et al., 2001).

Parâmetros	Unidade	Valores
pH	-	4,5 - 9
Condutividade	µS/cm	2500 – 35000
Sólidos totais	mg/L	2000 - 60000
Carbono Orgânico Total	mg/L	30 - 29000
DBO5	mg/L	20 - 57000
DQO	mg/L	140 - 152000
Nitrogênio Orgânico	mg/L	14 - 2500
Fósforo total	mg/L	0,1 - 23
Cloretos	mg/L	150 - 4500
Sulfatos	mg/L	8 – 7750
Potássio	mg/L	50 – 3700
Nitrogênio amoniacal	mg/L	50 – 2200
Cálcio	mg/L	10 – 7200
Magnésio	mg/L	30 – 15000
Ferro	mg/L	3 - 5500
Manganês	mg/L	0,03 – 1400
Arsênico	µS/L	0,01 – 1
Cádmio	µS/L	0,0001 – 4
Cromo	µS/L	0,02 – 1,5
Cobalto	µS/L	0,005 – 1,5
Cobre	µS/L	0,005 – 10
Chumbo	µS/L	0,001 – 5
Mercúrio	µS/L	0,00005 – 0,16
Níquel	µS/L	0,015 – 13
Zinco	µS/L	0,03 - 1000

Alguns tratamentos baseados em processos químicos também são capazes de promover a degradação ou mineralização da matéria poluente presente no chorume. No entanto, requer a adição de produtos químicos, o que pode tornar o efluente ainda mais danoso ao meio ambiente. Além disso, o desempenho de cada processo está ligado a natureza química do chorume, que por sua vez pode ser influenciado pela idade, carga orgânica, clima, tipo de resíduos depositados no aterro, etc. (SERAFIM, 2003). Por exemplo, no caso da compostagem apenas de resíduos orgânicos o chorume gerado no processo não contém metais pesados ou substâncias químicas

tóxicas, já que a presença desses químicos no chorume geralmente está ligada a degradação de materiais metálicos, plásticos, eletrônicos, outros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS E RESULTADOS ESPERADOS

Com a finalidade de se analisar a eficiência do processo de osmose inversa no tratamento de chorume no Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos de Campos dos Goytacazes (CTR-Campos), foram analisados os fluxos concentrado (chorume bruto) e permeado (chorume tratado) no decorrer de 5 meses, além de analises mensais dos parâmetros exigidos pela legislação CONAMA Nº 430, de 13 de Maio de 2011 - Artigo 16 , tais como pH, metais pesados, DBO, DQO, turbidez, cor, cloro residual livre, temperatura, compostos orgânicos voláteis, constituintes inorgânicos não metálicos, constituintes orgânicos agregados, patógenos (indicador *Escherichia coli*), propriedades físicas e agregadas.

A estação conta com oito membranas comerciais de osmose inversa da PROTEC ARISAWA, modelos BPV-8-1200-SP. Os parâmetros de qualidade foram analisados por um laboratório especializado, TOMMASI AMBIENTAL, que segue um controle rigorosos de qualidade e métodos reconhecidos pela literatura e normas de qualidade. Os métodos utilizados na realização das análises encontram-se no Quadro 2. As amostras eram coletas no dia 02 de cada mês.

Quadro 2 – Métodos analíticos utilizados – (Tommasi Ambiental, 2021).

Análise	Unidade	Referência
Cloro Residual Livre	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 4500 G
Temperatura	ºC	SMWW, 23ª edição, método 2550
Benzeno	µg/L	SMWW, 23ª edição, método PCR 001
Clorofórmio	µg/L	ISO 10301:1997
Dicloroetenos	µg/L	ISO 10301:1997
Estireno	µg/L	DIN 38407 F9:1991
Etilbenzeno	µg/L	SMWW, 23ª edição, método PCR 001
Tetracloreto de Carbono	µg/L	ISO 10301:1997
Tricloroeteno	µg/L	ISO 10301:1997
Tolueno	µg/L	SMWW, 23ª edição, método PCR 001
Xilenos	µg/L	SMWW, 23ª edição, método PCR 001
Cloreto Total	mg/L	EPA 300.0:1993
Nitrato	mg/L	EPA 300.0:1993
Nitrito	mg/L	EPA 300.0:1993
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L	PFQL 067
Nitrogênio Total	mg/L	PFQL 068

Ph	-	SMWW, 23ª edição, método 4500-H+
Sulfato Total	mg/L	EPA 300.0:1993
Cianeto Total	mg/L	POP-FQ-052 Anexo V
Fluoreto Total	mg/L	EPA 300.0:1993
Sulfeto Total	mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXVIII
Carbono Orgânico Total	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 5310 B
DBO 5	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 5210 B
Fenóis Totais	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 5530 C
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 5520 D
Óleos Minerais	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 5520 D
Óleos e Graxas Totais	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 5520 D
Surfactantes	mg/L	PFQL 065
DQO	mg/L	PFQL 060
Alumínio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Antimônio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Bário Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Cádmio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Cálcio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Chumbo Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Cobalto Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Cobre Dissolvido	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Cobre Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Cromo Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Ferro Dissolvido	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Fósforo Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Magnésio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Manganês Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Mercúrio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Níquel Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Potássio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Sódio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Zinco Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Arsênio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E

Boro Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Estanho Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Prata Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Selênio Total	mg/L	SMWW, 23a edição, método 3120 Preparo SMWW, 3030 A e E
Alcalinidade Total	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 2320B
Cor Verdadeira	mgPt/L	SMWW, 23ª edição, método 2120 C
Dureza Total	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 2340 C
Condutividade	µS/cm	SMWW, 23ª edição, método 2510
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 2540 B, C, D e E
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	SMWW, 23ª edição, método 2540 F
Sólidos Totais	mg/L	SMWW, 23ª edição, método 2540 B, C, D e E
. Escherichia coli	NMP/100mL	SMWW, 23ª edição, método 9221 F

3.1 Descrição Técnica do Sistema de Osmose Inversa

3.1.1 Tecnologia do Sistema de Osmose Inversa

O sistema utilizado no processo de tratamento conta com 3 fases/etapas. Na Figura 5 pode ser observado o painel de controle e operação das membranas. A pressão de operação trabalhada era mantida em 70 bar. A vazão de operação é mantida constante na entrada da estação com valor de 200 m^3/dia (pico).

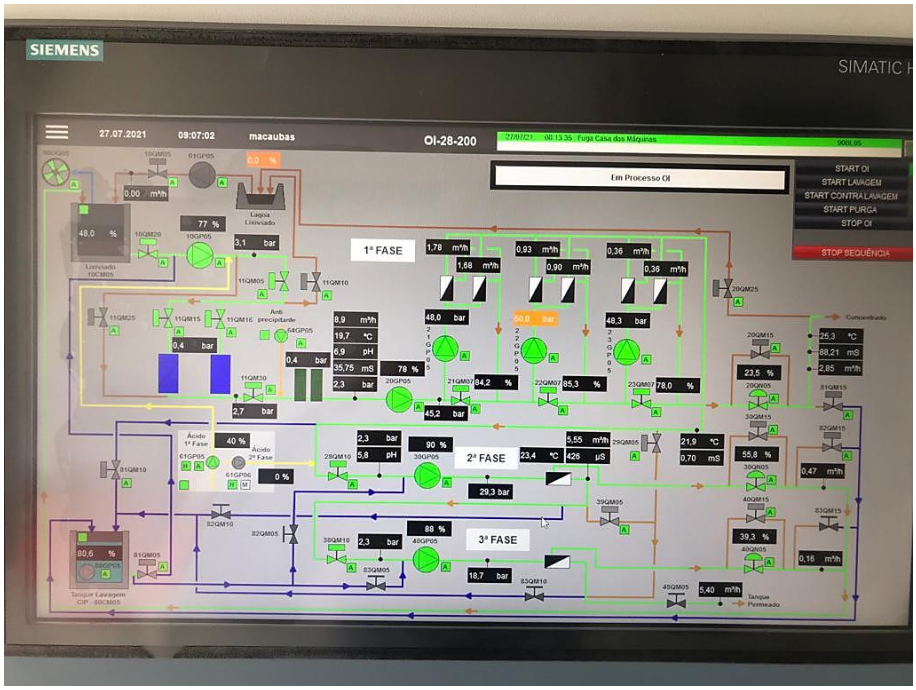

Figura 5 – Painel de controle da Osmose Inversa

Todo o processo pode ser visualizado e monitorado em uma cabine que se encontra junto a um contêiner (conforme Figura 6), onde se localiza todo o sistema de tratamento do chorume por membranas, a fim de assegurar o tratamento adequado.

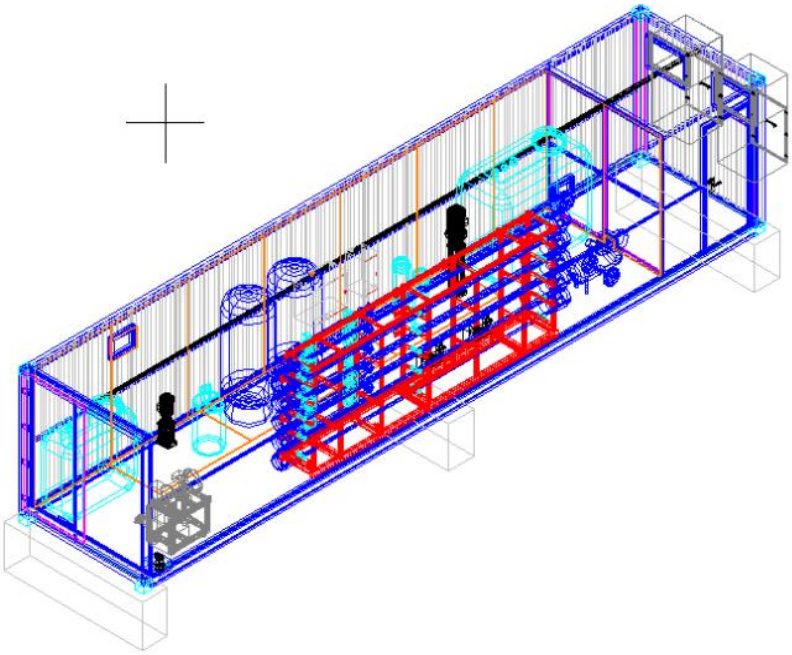

Figura 6 – Esquema tridimensional do sistema de tratamento em um contêiner de 40 pés. (MANUAL AST, 2014).

O contêiner é termicamente e acusticamente isolado e contém o sistema de osmose com todos os equipamentos eletromecânicos, tanques, armários elétricos e sistema de controle e comando. O sistema de controle e comando é instalado num compartimento próprio e independente, equipado com um sistema de ventilação com filtro de carvão ativado e com um sistema de ar-condicionado industrial para o armário de controle.

3.2 Descrição do Processo de Tratamento

No início do processo de tratamento o chorume é bombeado a partir da lagoa de pré-tramento para as membranas no contêiner. A bomba responsável pelo abastecimento é controlada automaticamente de acordo com o nível do tanque de recepção de chorume, antes da entrada nas membranas de osmose. Este tanque é equipado com duas sondas de nível, uma para controlar a bomba de alimentação e outra para evitar derrames internos. A Figura 7 apresenta um esquema do sistema dentro do contêiner.

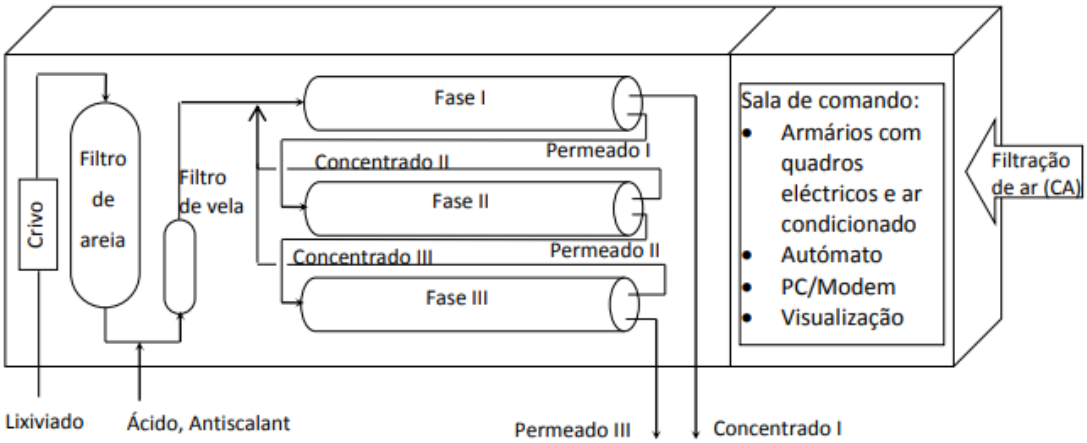

Figura 7 – Sistema contentorizado com 3 etapas – Esquemático (MANUAL AST, 2014).

O sistema conta com:

- Crivo com malha de 1,5 mm;
- Pré-filtração por filtro de areia pressurizado;
- Controle do pH por dosagem de ácido sulfúrico;
- Adição de antiscalant;
- Pré-filtração por microfiltração 10µm (1-10 µm);
- 1ª Etapa de Osmose Inversa;

- 2ª Etapa de Osmose Inversa;

- 3ª Etapa de Osmose Inversa;

No exterior do contêiner contém um lavador de gases para a remoção dos gases do permeado.

3.2.1 Pré-filtração

No início do processo como forma de pré-tratamento e proteção das bombas e membranas o chorume passa por um crivo com uma malha de 1,5 mm. Logo após é direcionado para uma filtragem em dois tanques de areia pressurizados, e duas estações de microfiltração.

Para a limpeza dos filtros de areia realiza-se um refluxo de chorume com um caudal elevado, essa limpeza é realizada semanalmente.

Depois de passar pela filtração por areia, o chorume passa por duas estações de filtragem de 10μm de cartucho (microfiltração, porosidade adaptável ao tipo de chorume entre 20 até 1μm) com seis cartuchos (filtros) cada uma (Figura 9), esse procedimento evita a entrada de partículas que possam ser prejudiciais as membranas.

Figura 9 – Filtro de cartucho

3.2.2 Dosagem de químicos

Para aumentar a solubilidade de sais e evitar/diminuir a precipitação de sais pouco solúveis é realizada a aplicação de alguns químicos como ácido para afinação do pH e um antiscalant.

Para a acidificação se utiliza ácido sulfúrico concentrado 96-98%, por motivos de segurança o sistema de injeção do ácido é completamente fechado numa caixa de aço inox e equipado com uma sonda que desliga o sistema em caso de um derrame.

Antes de entrar nas membranas o pH do chorume é controlado pelo sistema de dosagem de ácido sulfúrico, o ácido é injetado diretamente na tubulação de chorume com uma válvula de dosagem.

O processo de aplicação do antiscalant (anti-precipitante tipo Vitec 2000 (AVISTA Technologies) é igual ao de ácido sulfúrico.

3.2.3 Etapas do sistema de membranas

O sistema de membranas é composto por três etapas que são equipadas com sondas de pressão para controle de todo processo, em caso de qualquer anomalia (excesso de pressão) o sistema se desliga automaticamente.

Na primeira etapa, os módulos de membranas são instalados em um tubo de alta pressão formando um bloco. Cada bloco é equipado com uma bomba de recirculação que mantém a velocidade alta e por consequência um fluxo turbulento sobre a superfície das membranas, isto para diminuir o efeito "fouling". O concentrado do último bloco atravessa um medidor de caudal, o sinal emitido por este medidor controla a válvula de regulação conforme a eficiência ajustada. O concentrado resultante da primeira fase é bombeado para uma lagoa impermeabilizada com manta PEAD.

De forma a assegurar um tratamento adequado do chorume garantindo o cumprimento dos valores limites de descarga, o permeado da 1º fase segue para uma 2º etapa. O processo da 2º fase é idêntico ao da 1º fase, apenas ocorre uma redução na pressão desta 2º fase pois a pressão osmótica é inferior (máx. 25bar). O concentrado da 2º fase é recirculado e enviado para o tanque de entrada de chorume no interior do contêiner. Este concentrado passa por todo processo de tratamento juntamente com o lixiviado de entrada. Já o permeado da 2º fase é encaminhado para 3º fase, onde passa por um processo igual ao da 2º fase.

O permeado na saída é monitorado pelo valor da condutividade. Logo após, o permeado final é conduzido para um reservatório aberto, onde é reutilizado para regar plantas, umidificar as vias do aterro e o restante é recirculado no topo do aterro (prática que só deve acontecer no período de estiagem).

O concentrado final é todo direcionado para uma lagoa impermeabilizada com manta PEAD, a fim de ser novamente tratado.

3.2.4 Vida útil das membranas

As membranas da 1º fase são substituídas de 2 a 3 anos, e as de 2º e 3º fase de 5 a 10 anos. A vida útil varia de acordo com a composição do chorume e manutenção efetuada. A

duração de operação de substituição das membranas é de aproximadamente 6 horas. Os módulos espirais das membranas são trocados no local.

3.2.5 Limpeza do sistema

Para a limpeza do sistema e lavagens é utilizado um tanque interno (Tanque CIP – Cleaning in Place) que serve como tampão para o permeado. O nível neste tanque é controlado e supervisionado pelo sistema, podendo ser alterado pelo operador.

Ao longo do tempo de operação do sistema o fenômeno *fouling é monitorado*. Levando em conta que o sistema controla os caudais de chorume, um aumento da pressão no sistema indica a necessidade de lavagem das membranas. Quando ocorre um aumento de pressão significativa, o sistema de segurança integrado inicia automaticamente um regime de funcionamento com controle de pressão, em casos de pressão excessiva o sistema é desligado.

As lavagens ocorrem de forma semanal, sendo efetuadas com o permeado proveniente do tanque interno com os produtos adequados, o P3-Ultrasil-11 para lavagem alcalina e o ácido cítrico monoidratado em pó.

Os produtos são adicionados ao tanque de forma manual, 22,5 kg de P3-Ultrasil-11 e 25 kg de ácido cítrico monoidratado em pó. Em seguida é acionado o sistema de lavagem que bombeia a alta velocidade e baixa pressão os químicos através do sistema.

3.2.6 Sistema de controle e comando

O processo ocorre de maneira continua e automática através de um autômato programável (PLC), em caso de anomalias a estação para automaticamente. O controle dos fluxos é realizado com válvulas automáticas eletropneumáticas e são controladas pelo PLC. A transmissão de sinais para as válvulas é realizada com um sistema Profi/Asi-Bus (um único cabo, com alta resistência mecânica e química para receber e enviar os sinais das válvulas automáticas).

Para visualização, controle e supervisão do processo é utilizado um PC externo com permissão de acesso a todo o sistema, servindo de controle remoto. Esse método torna mais fácil e confortável a detecção de anomalias e realização de assistência técnica.

3.2.7 Dados de Operação da Osmose Inversa

Para o funcionamento adequado da Osmose Inversa, alguns parâmetros devem ser mantidos ao longo do processo (Tabela 2). Conforme recomendação do fabricante.

Tabela 2 – Dados técnicos da unidade de Osmose Inversa

Parâmetro	Unidade	Valor
Capacidade de transporte	m^3/h	8
Temperatura	ºC	30
Eficiência min.- máx.	%	50 – 80
pH após dosagem do ácido		6 – 7
Pressões (25ºC)		
Pressão saída concentrado	bar	0,5
Pressão saída permeado	bar	0,5
Pressão de chorume na entrada	bar	0,5 – 2
Pressão máxima 1º fase	bar	75
Pressão máxima 2º fase	bar	25
Pressão máxima 3º fase	bar	20
Elétricos (abastecimento conforme normas europeias)		
Sistema alimentação trifásico	V	400
Tensão de controle interno	V	230
Frequência	Hz	60
Potência elétrica instalada	kW	40
Consumo elétrico	kWh/m^3	9

3.3 Armazenamento das Amostras para Análise

O processo de coleta das amostras de chorume no sistema antes do envio ao laboratório é realizado conforme mostrado nos Quadros 3 e 4.

Quadro 3 – Embalagens e Preservantes (Tommasi, 2021)

Chorume Bruto – Mensal			
Embalagem	**Volume**	**Preservação**	**Paramêtros**
Polietileno	500 ml	Refrigeração	Alcalinidade Total, Sólidos Totais, Condutividade.
Polietileno	400 ml	Refrigeração + H2SO4 1:1	Dureza Total, Nitrogênio Amoniacal Total, Fenóis Totais, DQO.
Polietileno	20 ml	Refrigeração + H2SO4 1:1	Carbono Orgânico Total

Polietileno	600 ml	Refrigeração	Temperatura, Sólidos Dissolvidos Totais, Cor Verdadeira, Sulfato Total, Nitrato, Fluoreto Total, Cloro Residual Livre, Surfactantes, Cloreto Total, Nitrogênio Total, pH.
Polietileno	1000 ml	Refrigeração	Sólidos Sedimentáveis.
Vidro Âmbar O&G	1000 ml	Refrigeração + H2SO4 1:1	Óleos e Graxas
Polietileno	200 ml	Refrigeração + NaOH 5N	Cianeto Livre.
Polietileno	50 ml	Refrigeração + NaOH 5N	Cianeto Total.
Polietileno	10 ml	Refrigeração + Acetato de zinco 2M + NaOH 6M	Sulfeto Total.
Polietileno	300 ml	Refrigeração	Metais Dissolvidos
Vial	40 ml	Refrigeração	VOC.

Quadro 4 – Embalagens e Preservantes (Tommasi, 2021)

Chorume Bruto – Mensal			
Embalagem	**Volume**	**Preservação**	**Paramêtros**
Vial	40 ml	Refrigeração	VOC.
Nalgon Estéril	100 ml	Refrigeração + Tiossulfato de Sódio 10%	Escherichia coli.
Polietileno	500 ml	Refrigeração + NaOH 5N	Cromo Hexavalente.
Polietileno	500 ml	Refrigeração + HNO3 Concentrado	Cromo Trivalente.
Polietileno	300 ml	Refrigeração + HNO3 Concentrado	Metais Totais.
Polietileno	1000 ml	Refrigeração	DBO (Oxímetro - 5 Dias).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de qualidade do chorume bruto e tratado/permeado coletados e analisados nos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro de 2021, são apresentados a seguir. Os resultados são comparados aos padrões de qualidade da Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011 - Artigo 16 e com a Portaria de Consolidação 5/2017 do Ministério da Saúde, para comprovação de eficiência do método de tratamento na remoção de poluentes que sejam tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente.

O chorume concentrado não passou por análises pois ele é recirculado sobre o aterro.

4.1 Resultados das Amostras de Chorume Bruto e Tratado/Permeado

Abaixo são apresentados os resultados das amostras de chorume bruto e tratado/permeado coletadas e analisadas em laboratório, o objetivo foi verificar o padrão de qualidade do permeado.

Alguns resultados obtidos nas análises ficaram abaixo dos valores mínimos indicados pelos métodos analíticos não possibilitando identificar o valor real dos compostos.

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) podem ser prejudiciais ao meio ambiente de forma direta e indireta, visto que apresentam efeitos como a degradação do ozônio estratosférico e efeito estufa. Além disso os COVs podem causar problemas a saúde humana por conta dos seus efeitos tóxicos, como doenças hepáticas, renais, neurológicas e até câncer no caso do benzeno (JUNQUEIRA, 2005).

Os valores do benzeno, clorofórmio e dicloroetenos se mantiveram abaixo do limite de quantificação do método analítico (SMWW, 23ª edição, método PCR 001), que é de 2 µg/L (Figura 10).

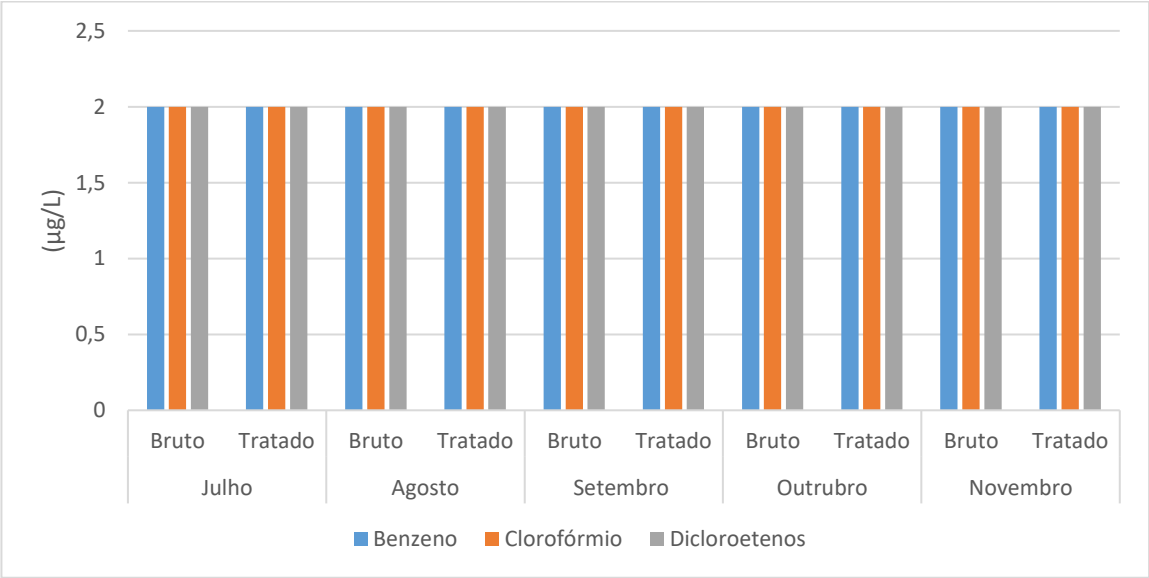

Figura 10 – Relação dos compostos benzeno, clorofórmio e dicloroetenos de cada mês.

A Resolução CONAMA Nº 430/2011 define que para o benzeno, clorofórmio e dicloroeteno os valores adequados devem ser de no máximo 1,2 mg/L, 1,0 mg/L e 1,0 mg/L respectivamente. Portanto, para estes poluentes a membrana não conseguiu atender a legislação.

Seguindo o padrão estabelecido anteriormente os compostos como o estireno, etilbenzeno, tetracloreto, tricloroeteno, tolueno e xilenos, se mantiveram abaixo do volume mínimo de quantificação do método (Figuras 11 e 12), exceto no mês de agosto onde o estireno

apresentou um valor de 10 µg/L no chorume bruto. Já no tratado ele apresentou um valor abaixo de 2 µg/L, mostrando assim uma rejeição de no mínimo 81,13 %, visto que o limite de quantificação não permite a precisão desse resultado.

A Resolução CONAMA Nº 430/2011 exige que o valor do estireno seja de no máximo 0,07 mg/L, já que ele é nocivo à saúde, podendo causar dores de cabeça, tontura, náuseas e até inconsciência.

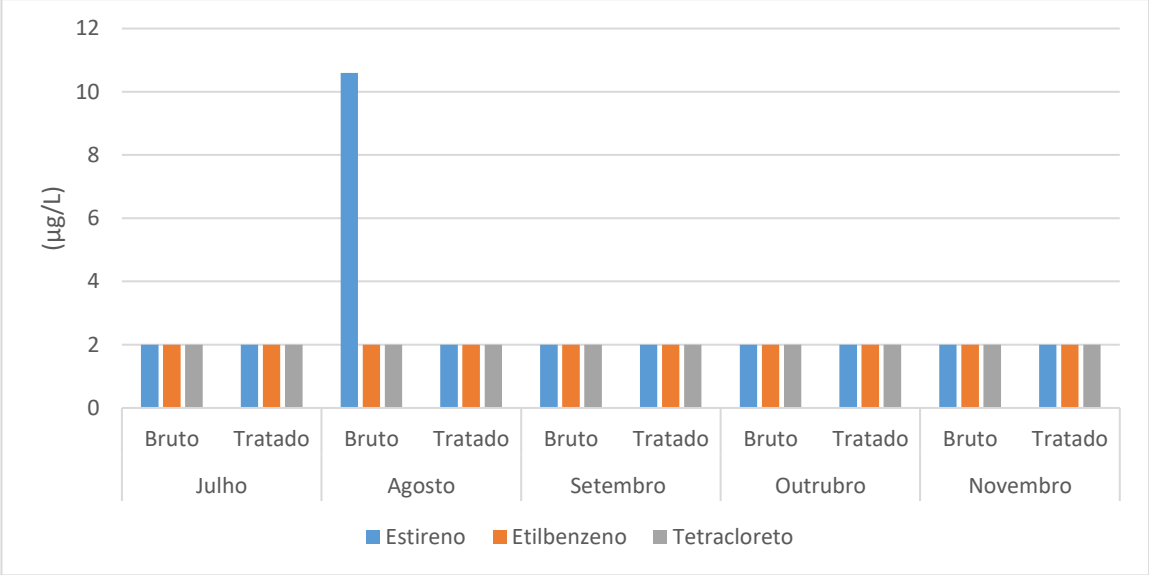

Figura 11– Relação dos compostos Estireno, Etilbenzeno e Tetracloreto de cada mês.

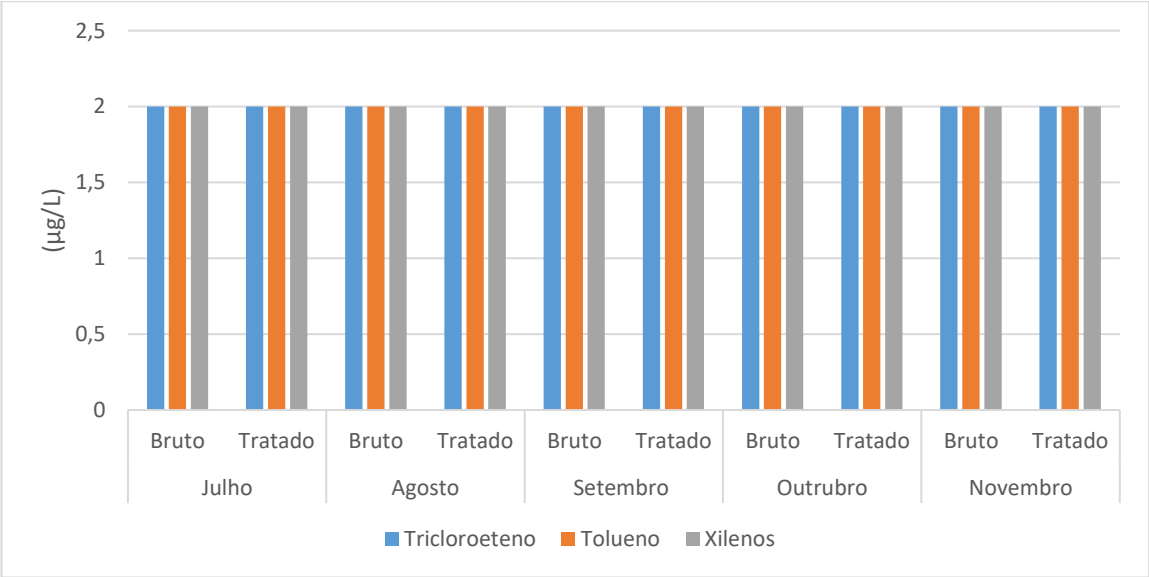

Figura 12– Relação dos compostos Tricloroeteno, Tolueno e Xileno de cada mês.

Compostos de nitrogênio em seus diferentes estados de oxidação (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato), podem constituir riscos para a saúde humana. A ingestão de nitrito através das águas de abastecimento está relacionada a dois efeitos adversos a saúde, a indução a metemoglobinemia, predominante em crianças, e a formação de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas. Uma vez que tem se tornado um problema mundial, o aumento da contaminação das águas por compostos nitrogenados vem merecendo atenção especial, devido sua ampla e diversificada procedência (ALABURDA, 1998).

Outra substância que merece atenção é o cloreto, que comumente é encontrado nos alimentos, se ingeridos em grandes quantidades podem causar riscos à saúde humana, como é o caso do cloreto de sódio. Quando a ingestão de sódio excede as necessidades do organismo, o corpo acaba retendo muita água, ocorre um aumento da volemia e da pressão arterial (VIEGAS, 2008).

A figura 13 traz a relação dessas substâncias, no geral os valores sofreram baixas oscilações no chorume bruto de cada mês, exceto no mês de outubro onde os valores estiveram bem abaixo dos valores anteriores.

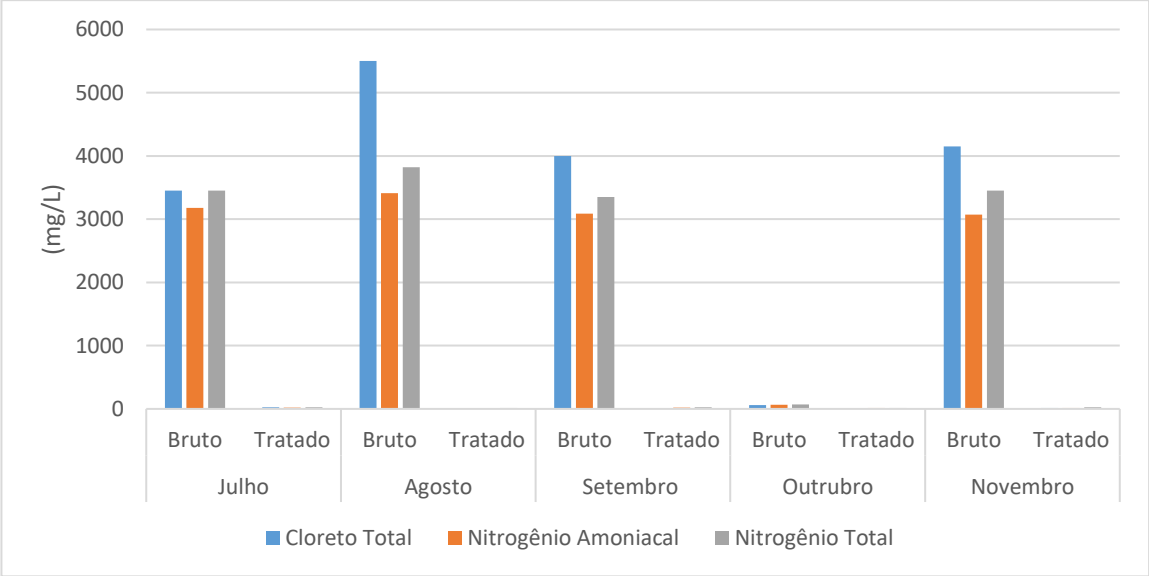

Figura 13 – Relação dos compostos Cloreto Total, Nitrogênio Amoniacal e Nitrogênio Total de cada mês.

Para o cloreto total o método mostrou uma rejeição acima de 99% nos meses de julho, agosto, setembro e novembro, já no mês de outubro sofreu uma rejeição de 94%, saindo de 59,4 mg/L para 3,54 mg/L. De acordo com o Ministério da Saúde por meio da Portaria de Consolidação 5/2017, o limite para respeitar o padrão de potabilidade é de no máximo 250 mg/L.

O nitrogênio amoniacal manteve seus valores entre 3090 e 3410 mg/L no chorume bruto, sofrendo uma rejeição acima de 99% nos três primeiros meses e no último, já no mês de outubro a rejeição ficou em 81%. A Resolução CONAMA Nº 430/2011 diz que o valor máximo de nitrogênio amoniacal para lançamento de efluentes deve ser de no máximo 20 mg/L. Em um estudo realizado por MANNARINO (2006) com *wetlands*, foi constado uma remoção de 45% de nitrogênio amoniacal, pelo menos 36% menos eficiente que a osmose inversa.

Na figura 14 pode ser observado o gráfico com os respectivos valores do nitrato e nitrito de cada mês, os compostos não sofreram muitas oscilações no chorume bruto, com exceção do mês de novembro onde o nitrato apresentou uma diferença de aproximadamente 2 mg/L comparado com outros meses.

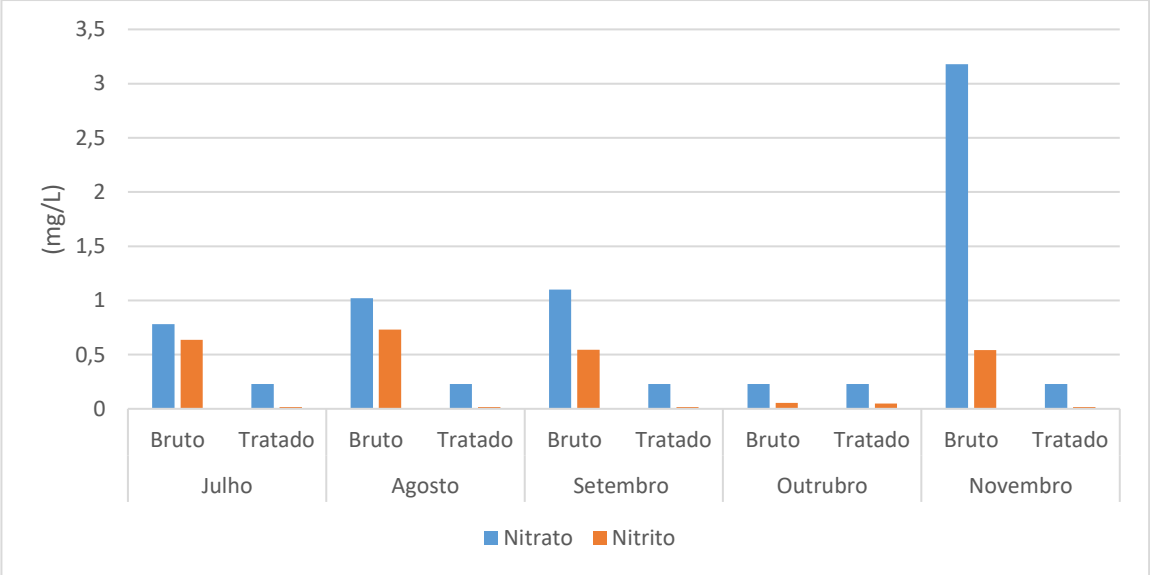

Figura 14– Relação dos compostos Nitrato e Nitrito de cada mês.

Para o nitrato o Ministério da Saúde estabelece um valor máximo de 10 mg/L, já o nitrito o valor é de até 1 mg/L. A taxa de rejeição do nitrato variou entre 70 e 92%, devido ao limite de quantificação do método algumas porcentagens não puderam ser estendidas, pois os valores ficaram abaixo de 0,23 mg/L. O nitrito atingiu rejeições de 97%, exceto no mês de outubro onde a quantidade encontrada no chorume bruto ficou bem próxima do limite de quantificação do método analítico, constatando uma rejeição de apenas 9%, visto que a variação dos valores ficou bem próximas de 0,054 a 0,049 mg/L.

Algumas outras substâncias toxicas como os cianetos, fluoretos, sulfetos e sulfatos também foram monitorados. O pH também foi medido tanto no chorume bruto quanto no tratado/permeado buscando verificar a acidez de cada um (Figuras 15 e 16).

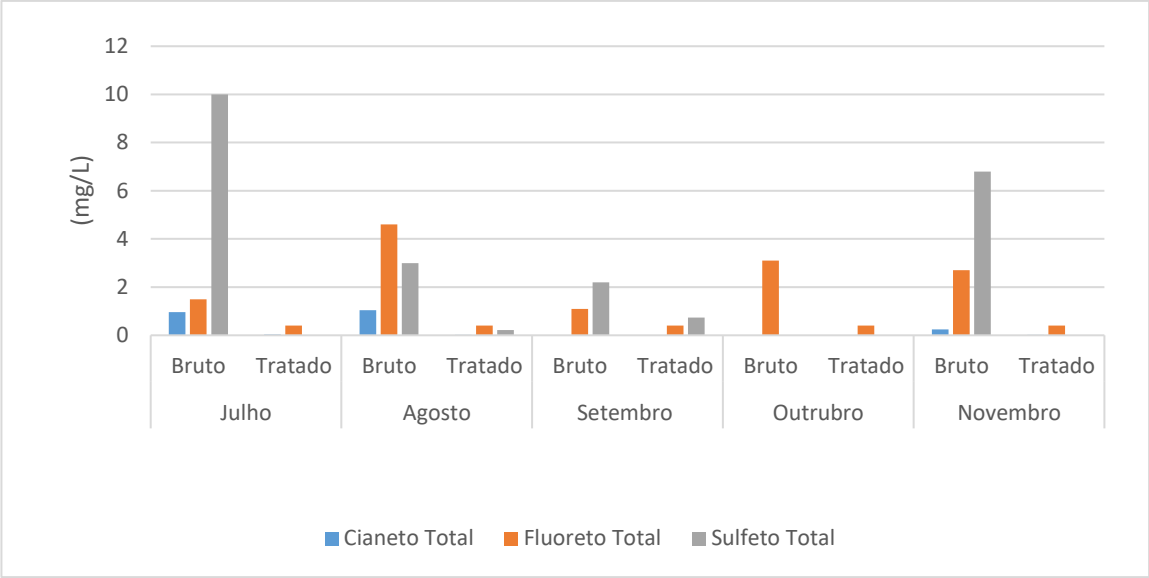

Figura 15 – Relação dos compostos Cianetos, Fluoretos e Sulfetos de cada mês.

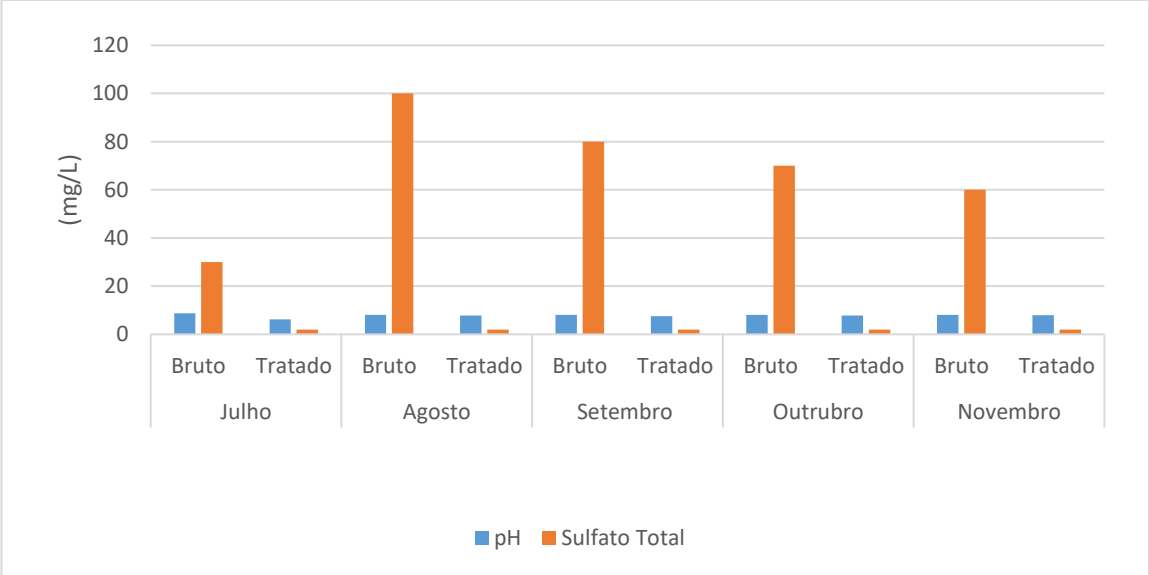

Figura 16– Relação do pH e Sulfato de cada mês.

O cianeto sofreu variações de 0,002 a 0,96 mg/L no chorume bruto, sofrendo rejeição de até 98%. A Resolução CONAMA Nº 430/2011 exige que a presença do cianeto total seja limitada a 1,0 mg/L, o que foi perfeitamente respeitado em todas as análises do permeado onde o maior valor foi de 0,038 mg/L.

Os demais compostos também sofreram uma alta taxa de rejeição, o fluoreto apresentou uma máxima de 91% de rejeição, o sulfato 98% e o sulfeto de 99,98%. A CONAMA também traz padrões de lançamento para o fluoreto e sulfeto 10 e 1,0 mg/L respectivamente, após o tratamento foram atingidos máximas de 0,4 mg/L para o fluoreto e 0,74 mg/L para o sulfeto.

O pH oscilou entre 8,07 e 8,7 no chorume bruto, enquanto no tratado ficou entre 6,28 e 7,97 que se caracterizam como neutros, a CONAMA exige um pH para lançamento que esteja entre 5 e 9.

O lançamento de matéria orgânica em corpos hídricos é um grande problema ambiental, visto que com a presença da matéria orgânica mais oxigênio é exigido para a sua degradação. Quando o volume de matéria orgânica excede a capacidade de autodepuração do corpo hídrico, este fica sem oxigênio, que por sua vez acarreta problemas para os peixes e outros seres aquáticos que morrem não por toxicidade, mas por asfixia. Por isso a quantidade de matéria orgânica lançada em um corpo hídrico deve ser proporcional à sua disponibilidade de oxigênio dissolvido. Deste modo a poluição orgânica de um determinado curso d'agua pode ser avaliada pelo decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido e/ou pela quantidade de oxigênio necessário para oxidá-la (VALENTE,1997).

A Figura 17 traz a relação do Carbono Orgânico Total (COT), a Demanda Bioquímica de Oxigênio consumido durante 5 dias (DBO5) e a Demanda Química de Oxigênio medidos durante os cinco meses.

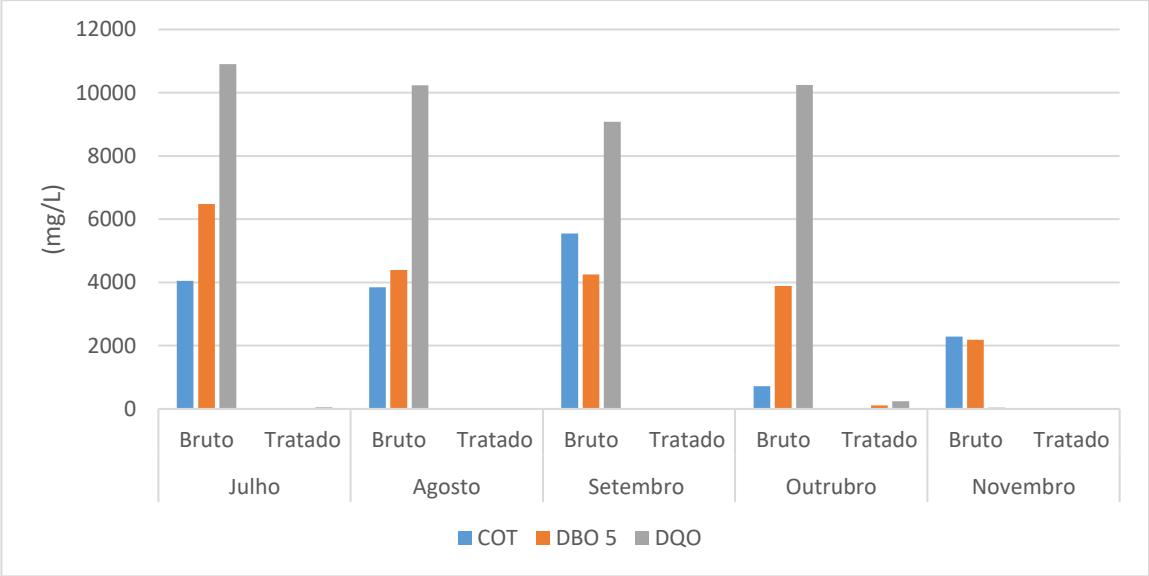

Figura 17 – Relação do COT, DBO5 e DQO de cada mês.

Os valores de COT estiveram dentro do padrão esperado para chorume bruto, sofrendo uma rejeição maior que 99% em relação ao chorume tratado/permeado em todos os casos. A DBO5 oscilou entre 2190 e 6480 mg/L, sofrendo rejeição maior que 97% em todos os meses, se enquadrando no padrão exigido pela Resolução CONAMA Nº 430/2011, que estabelece uma quantidade máxima de 120 mg/L para lançamento em corpos hídricos. Por fim a DQO sofreu uma taxa de rejeição média maior que 98% em todos os casos, com valores que oscilaram entre

3 e 54 mg/L nas análises realizadas com o chorume tratado. O tratamento por tanque de aeração e lagoas de tratamento de acordo com Tartari (2005) tem apresentados resultados de rejeição para DQO que oscilam entre 33% e 69 % do chorume bruto para o tratado, muitas vezes não alcançando os padrões exigidos pela legislação ambiental. Krishna et al. (2010) através de um estudo sobre tratamento eletroquímico obteve um resultado de 72,3% de remoção da DQO. Segundo a análise de Silva et al. (2016) o tratamento do chorume utilizando um reator anaeróbio em Uberlândia, apresentou uma eficiência de remoção de DBO de apenas 26,5%.

O excesso de óleos e graxas em corpos hídricos interferem diretamente nos processos biológicos aeróbicos e anaeróbicos, ocasionando por sua vez a eutrofização dos corpos hídricos e interferindo no tratamento de águas residuais, impossibilitando seu consumo pela população e animais.

Na figura 18 encontramos os valores presentes dessas substâncias nas análises realizadas do chorume bruto e tratado/permeado.

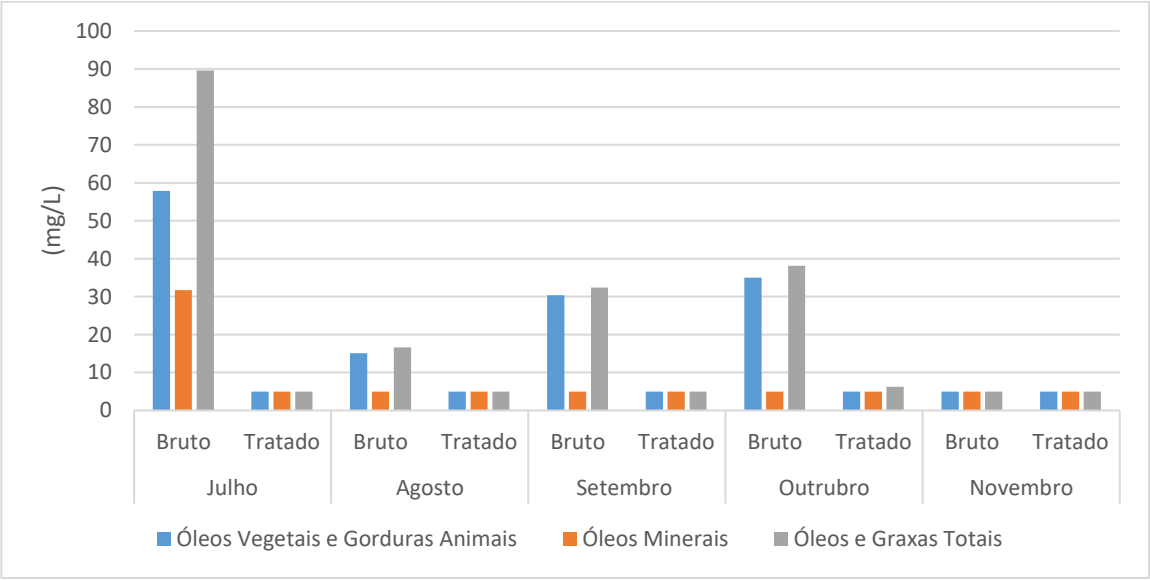

Figura 18 – Relação dos Óleos Vegetais e Gorduras Animas, Óleos Minerais, Óleos e Graxas Totais de cada mês.

Os óleos vegetais e gorduras animais sofreram rejeição de 66% a 91 %, com exceção do mês de novembro onde o valor encontrado na amostra de chorume bruto esteve abaixo do limite de quantificação do método analítico, a Resolução CONAMA Nº 430/2011 estabelece um valor máximo de 50 mg/L para o lançamento em corpos hídricos. Nas análises realizadas com o chorume tratado/permeado todos os valores encontrados estiveram abaixo do limite de quantificação que é 5 mg/L.

Os óleos minerais atingiram o limite de quantificação em todos os meses com exceção do mês de julho, que foi obtido um valor de 31,7 mg/L sofrendo 84% de rejeição após o tratamento, estando assim abaixo do valor máximo estabelecido pela legislação que é de 20 mg/L.

A Resolução CONAMA Nº 430/2011 também limita os óleos e graxa totais a um valor de 100 mg/L, desta forma esse valor foi respeitado em todos os meses tanto no chorume bruto quanto no tratado.

Os surfactantes também são compostos que merecem atenção, pois quando encontrado em grandes quantidades pode causar prejuízos à saúde humana, como por exemplo reações alérgicas. Os fenóis são substâncias toxicas que devem ser devidamente monitoradas para os lançamentos em corpos hídricos, evitando que alcance valores prejudicais a saúde humana.

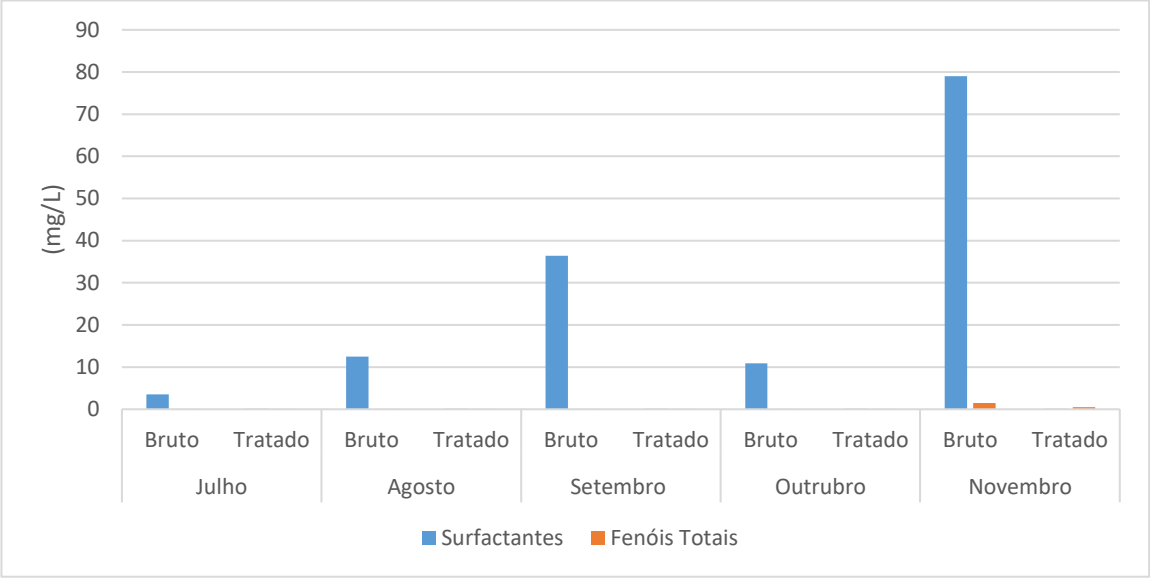

Figura 19 – Relação dos Surfactantes e Fenóis Totais de cada mês.

Alguns metais possuem um papel importante no metabolismo dos seres vivos, pois suas propriedades têm um papel fundamental na estrutura tridimensional de biomoléculas essenciais ao metabolismo celular. Porém enquanto alguns metais são necessários em baixíssima quantidade para os seres vivos, outros não apresentam função biológica relevante, neste caso podem ser prejudiciais ao metabolismo (VALLS E LORENZO, 2002).

Os metais lançados em corpos hídricos podem afetar os seres que ali vivem de duas formas básicas: sendo tóxicos ao organismo ou podem ser bioacumulativos, tendo seu efeito potencializado ao longo da cadeia alimentar, onde sua concentração aumenta à medida que

avança na cadeia alimentar. Com base nesse processo, mesmo um metal descartado de forma reduzida pode trazer dano a um ecossistema (BRAGA et al., 2002).

Alguns metais pesados foram analisados nas amostras coletadas de cada mês, como mostra os gráficos a seguir (Figuras 20, 21, 22, 23 e 24).

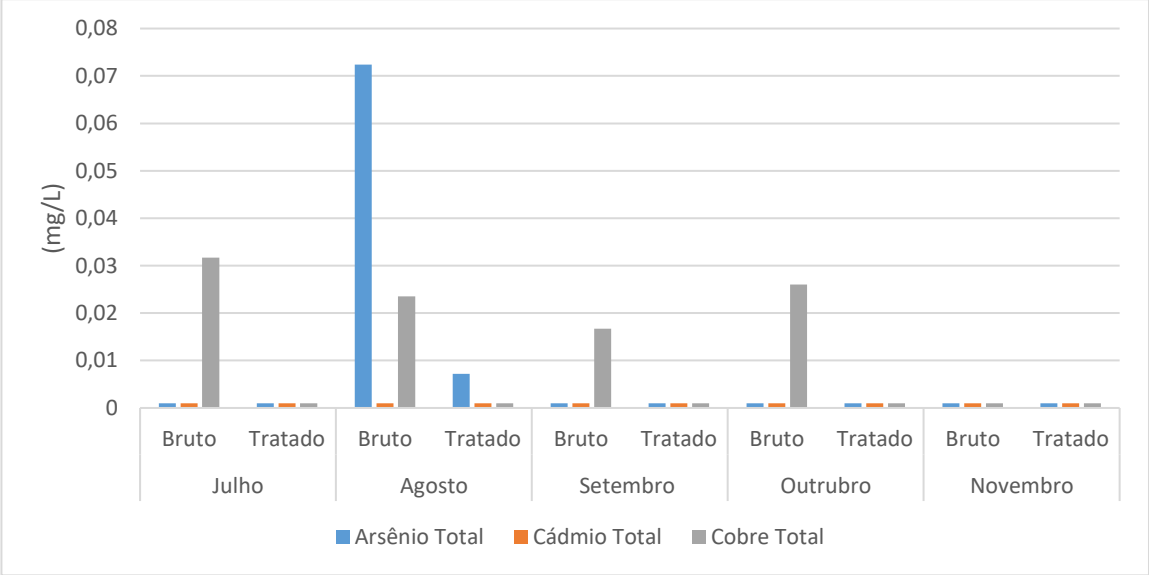

Figura 20 – Relação dos metais Arsênio, Cádmio e Cobre de cada mês.

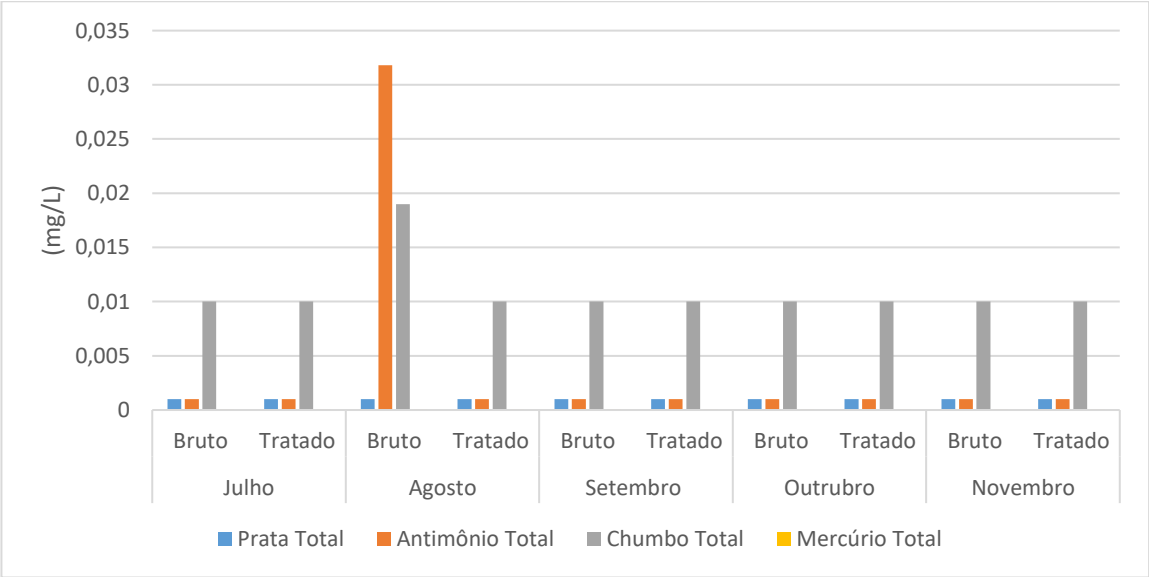

Figura 21 – Relação dos metais Prata, Antimônio, Chumbo e Mercúrio de cada mês.

O arsênio total esteve abaixo do limite de quantificação do método analítico de 0,001 mg/L em quatro dos cinco meses analisados, apresentando um valor de 0,072 mg/L no mês de agosto no chorume bruto, onde sofreu uma rejeição de 90% no processo de tratamento, ficando abaixo do valor máximo exigido pela Resolução CONAMA Nº 430/2011 para lançamento de efluentes, que é de 0,5 mg/L. Seguindo a mesma situação do arsênio ou antimônio apresentou valores abaixo de 0,001 mg/L em quatro meses, exceto no mês de agosto onde chegou atingir o valor de 0,032 mg/L no chorume bruto, com rejeição de 96% para o chorume tratado/permeado, o Ministério da Saúde estabelece um valor máximo de 0,006 mg/L de antimônio para que um efluente se enquadre no padrão de potabilidade.

O cobre apresentou uma rejeição de 94% a 96% nos meses de julho a outubro, no mês de novembro foi atingido o limite de quantificação do método tanto no chorume bruto, quanto no chorume tratado.

Para o chumbo os valores se fixaram abaixo de 0,01 mg/L em todos os meses, enquanto o mercúrio ficou com valores abaixo de 0,0001 mg/L que é o limite de quantificação do método, valores estes que estão de acordo com o esperado para aterros sanitários, segundo Celere (2007). De acordo com o Ministério da Saúde o mercúrio deve ser limitado à 0,001 mg/L, enquanto o chumbo 0,01 mg/L.

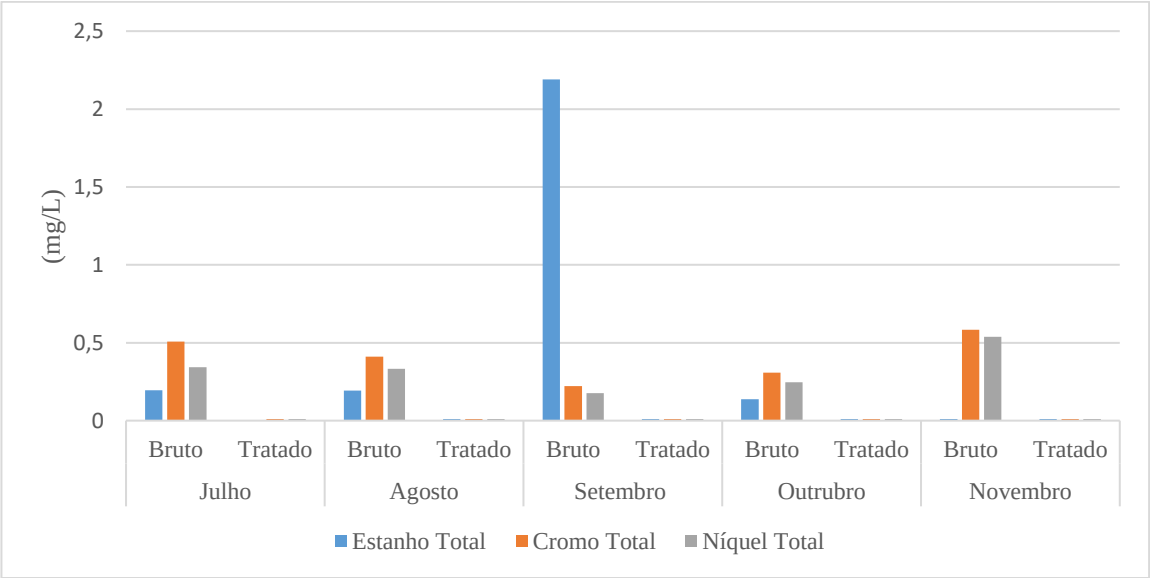

Figura 22 – Relação dos metais Estanho, Cromo e Níquel de cada mês.

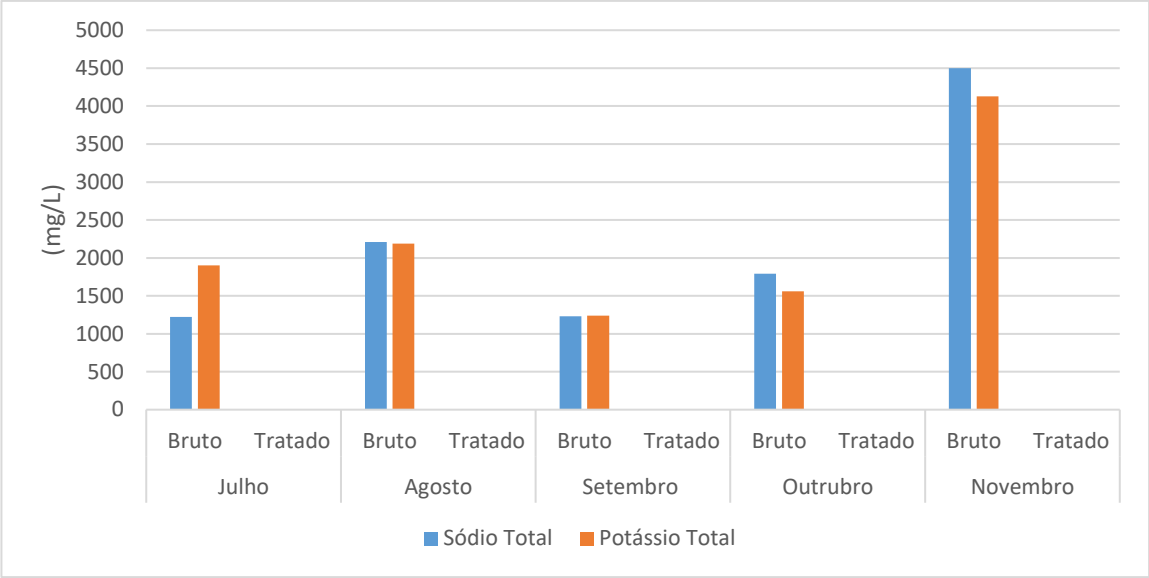

Figura 23 – Relação dos metais Sódio e Potássio de cada mês.

O estanho, cromo e níquel, concentraram seus valores abaixo de 0,5 mg/L em quase todas as amostras analisadas do chorume bruto, com exceção do mês se setembro onde o estanho alcançou 2,19 mg/L. Estes metais sofreram rejeições de 92 a 99%, respeitando assim os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 430/2011.

Muito presente em alimentos o sódio e potássio apresentaram valores bem mais relevantes do que os demais metais, chegando a atingir entre 4000 e 4500 mg/L no mês de novembro. Após o tratamento ocorreu uma rejeição acima de 99% todos os meses. Com base no Ministério da Saúde o valor máximo para o sódio permitido é de 200 mg/L para o efluente se enquadrar nos padrões de potabilidade.

O bário e o ferro dissolvido também foram analisados para concluir as análises de metais pesados (Figura 24).

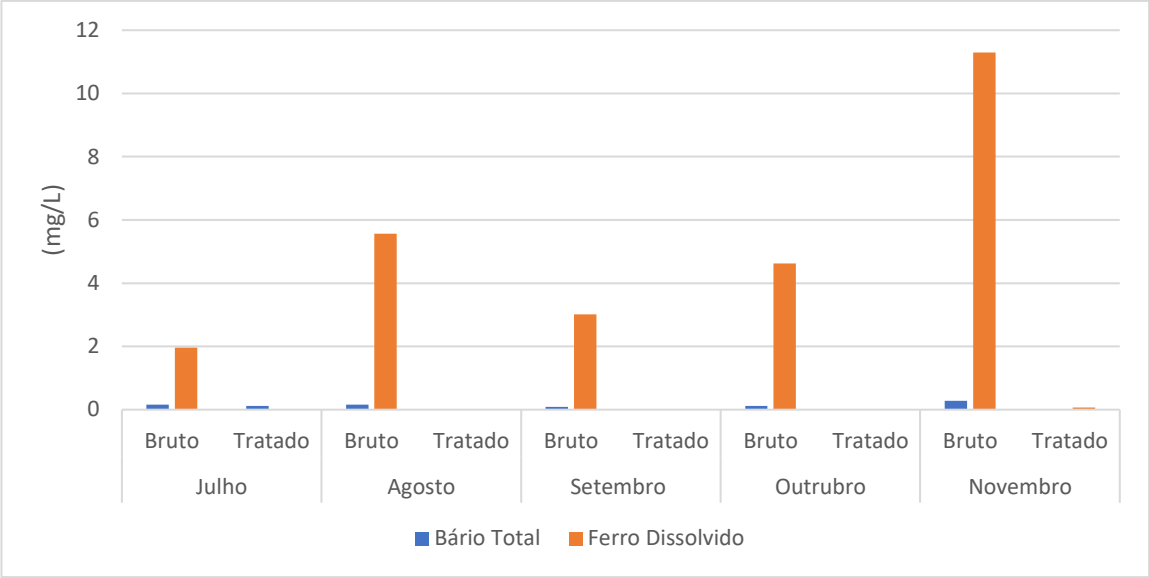

Figura 24 – Relação de metais Bário e Ferro Dissolvido de cada mês.

Com base nas análises realizadas o bário oscilou entre 0,091 e 0,27 mg/L, com rejeição de até 96% em relação ao chorume tratado, respeitando a Resolução CONAMA Nº 430/2011 que estabelece um valor máximo de 5 mg/L para lançamento de efluentes.

O ferro dissolvido apresentou valores entre 1,96 e 11,3 mg/L no chorume bruto, com rejeição maior que 99% em todos os casos, se enquadrando também na Resolução CONAMA Nº 430/2011 que estabelece um valor máximo de 15 mg/L para lançamento.

Segundo Maia (2015) através de um tratamento biológico, a eficiência média de remoção obtidas pelo método foram de, 43% para o chumbo, 35% cromo, 36% cobre, 31% para cádmio e 16% para o níquel. Já Ramos (2008) através de um processo de georremediação constatou uma remoção de 19,4% a 89 % de cobre, 33,1 % a 67,1% de níquel.

Na Figura 25 são apresentados os valores de *Escherichia coli* em NMP/100mL utilizado como padrão microbiológico nas análises de cada mês, visto que o aterro recebe lodo proveniente de esgotos.

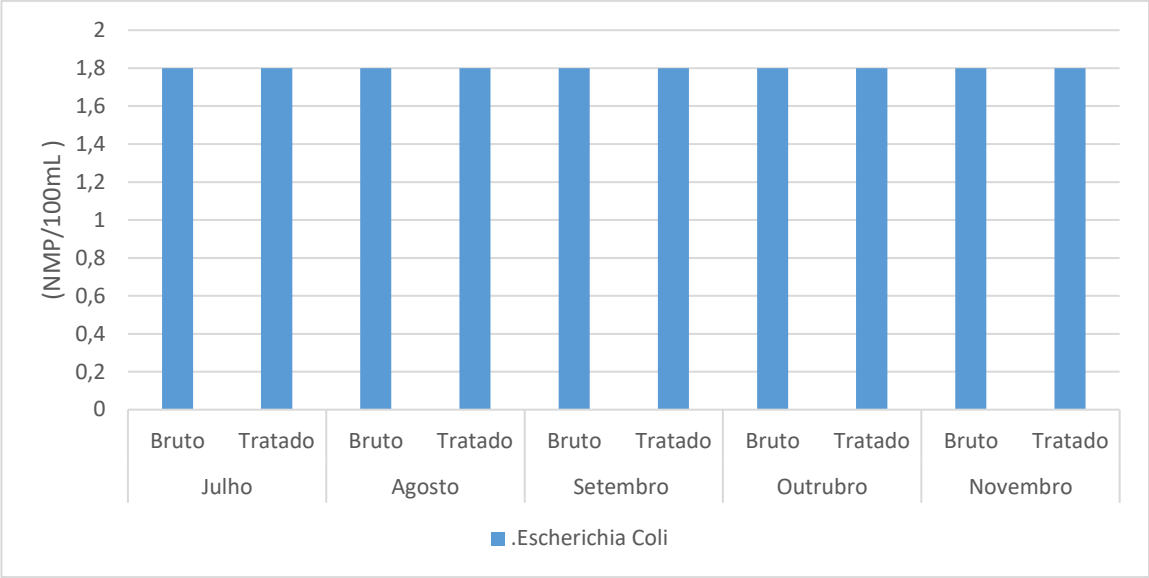

Figura 25 – Relação de parâmetros microbiológicos (chorume bruto) de cada mês.

Os valores ficaram todos abaixo de 1,8 NMP/100mL que é o limite de quantificação do método, tanto nas análises de chorume bruto, quanto nas de chorume tratado/permeado.

Para uma maior precisão sobre a qualidade do chorume bruto e tratado/permeado foram analisados também as propriedades físicas e agregadas (Figura 26).

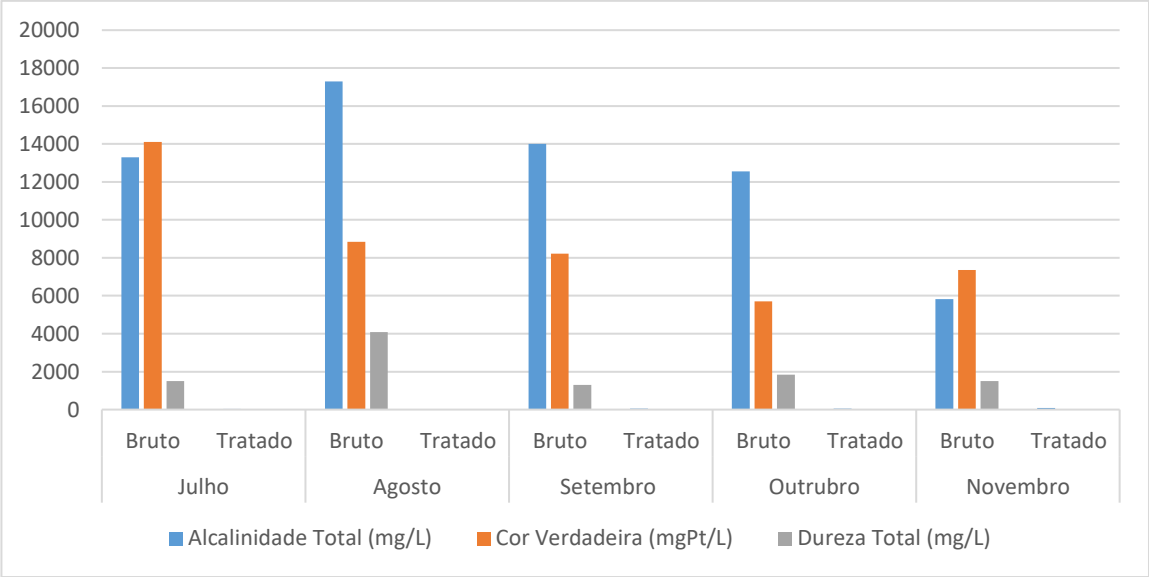

Figura 26 – Relação da Alcalinidade, Cor Verdadeira e Dureza de cada mês.

A alcalinidade do chorume bruto apresentou valores entre 5828 e 17295 mg/L, com rejeição maior que 98% em todos os meses. Já a cor verdadeira oscilou entre 5700 e 14100 mgPt/L, com rejeição maior que 99% em todos os meses.

A dureza do chorume bruto teve resultados entre 1300 e 4080 mg/L, enquanto no chorume tratado os valores oscilaram entre 2 e 18 mg/L, indicando uma rejeição maior que 99%.

A condutividade do chorume bruto e tratado/permeado foi medida em todos os meses, fazendo assim uma comparação em relação as concentrações iônicas de cada um (Figura 27).

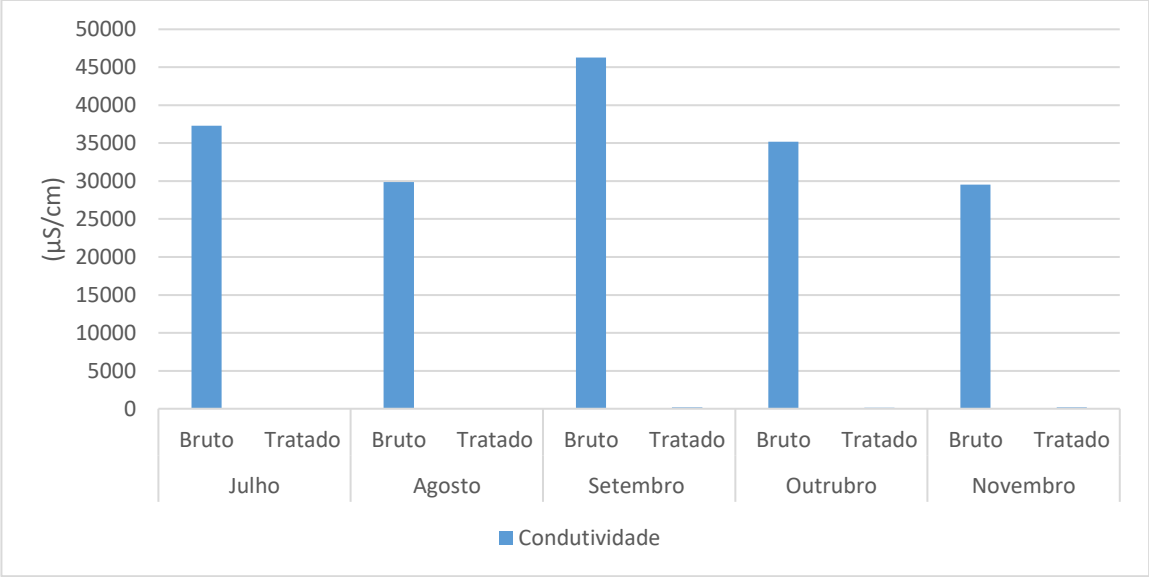

Figura 27 – Relação da Condutividade de cada mês.

Os valores para condutividade variaram entre 29530 e 46300 µS/cm, enquanto no chorume tratado as cargas ficaram entre 44,5 e 182 µS/cm, identificando uma rejeição maior que 99% em todos os meses.

De acordo com Ribeiro et al (2004), a condutividade é um dos parâmetros mais empregados para verificação do nível de salinidade e concentração de sais solúveis nas águas de irrigação e no solo.

Por fim foi realizado também a análise dos sólidos dissolvidos, totais e sedimentáveis (Figuras 28 e 29).

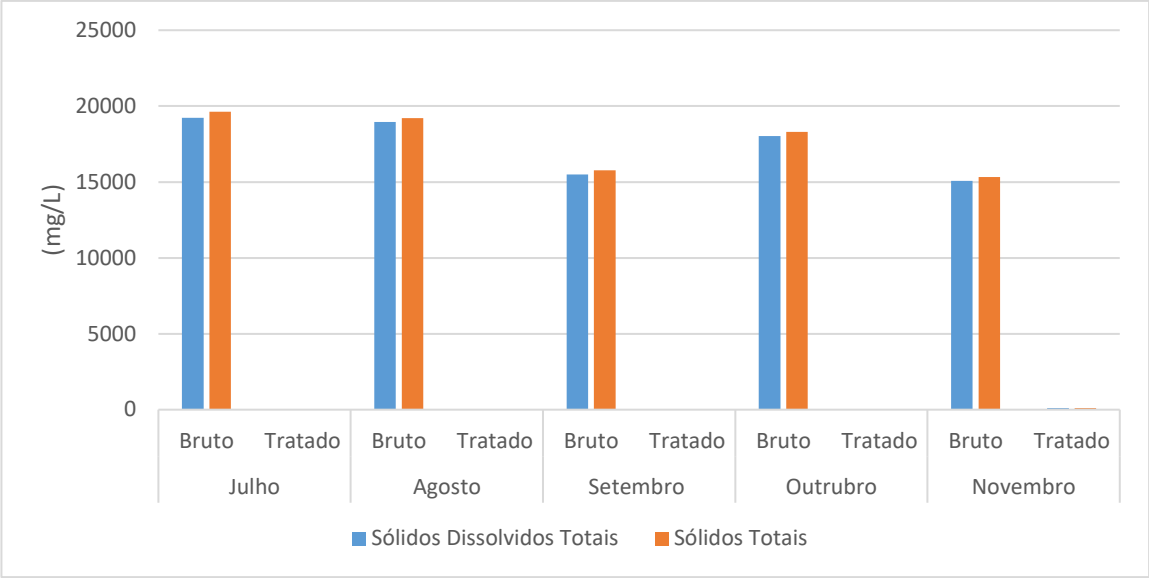

Figura 28 – Relação dos Sólidos Dissolvidos e Sólidos Totais de cada mês.

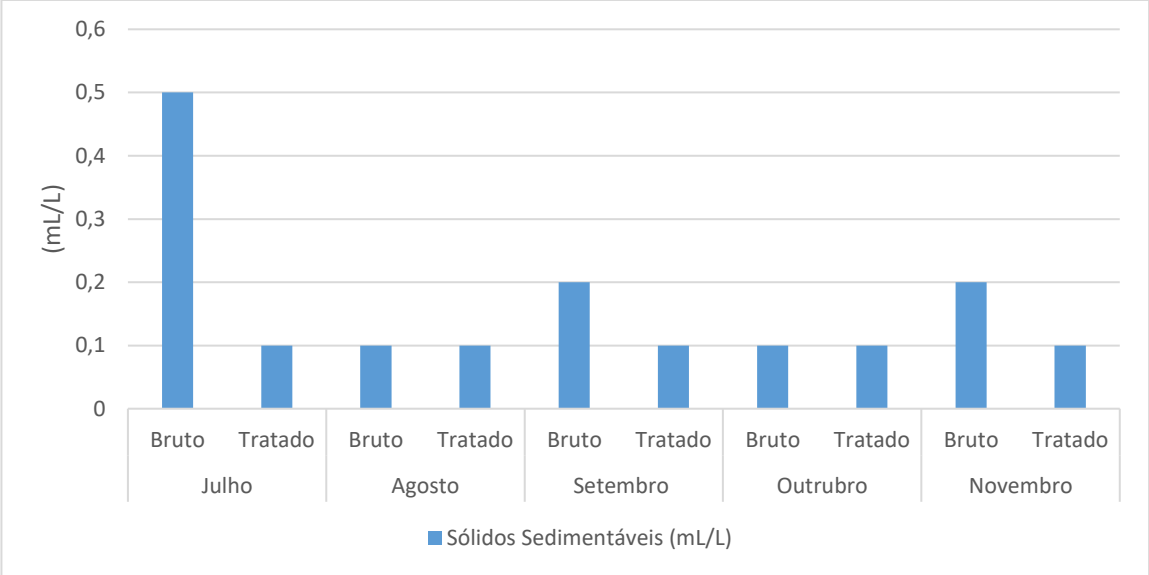

Figura 29 – Relação dos Sólidos Sedimentáveis de cada mês.

Entre os sólidos dissolvidos e sólidos totais os valores não variaram muito, os resultados se mantiveram entre 15083 e 19626 mg/L no chorume bruto, com uma rejeição acima de 99% em todas as análises comparadas com o chorume tratado/permeado. Já os sólidos sedimentáveis oscilaram entre 0,1 e 05 mL/L, levando em consideração que 0,1 mL/L é o limite de quantificação do método analítico. De acordo com Mannarino (2006) em seu estudo sobre *wetlands*, o percentual de remoção de sólidos totais foi de 71%, ou seja 28% a menos que o

tratamento por osmose inversa. Enquanto no estudo realizado por MACRUZ (2015) através do processo de coagulação/floculação obteve uma remoção 17% a 63 %.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que, após o acompanhamento ao longo de cinco meses, o presente estudo comprovou que o tratamento do chorume por membranas de osmose inversa no Centro de tratamento de resíduos sólidos do município de Campos dos Goytacazes mostrou-se eficiente na rejeição da matéria orgânica, nutrientes e substâncias químicas monitoradas, respeitando os valores exigidos pela Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011 - Artigo 16 e pelo Ministério de Saúde para o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Podendo assim ser usado para e irrigação do aterro e lançamento em corpos hídricos sem que cause grandes impactos negativos no ambiente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABRELPE, 2020, **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em 25 de janeiro, 2022.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160–165, abr. 1998.

ALBUQUERQUE, J.B.T de. **Resíduos sólidos**. Leme: Independente, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 1992.

AST. **ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME SISTEMA MÓVEL DE OSMOSE INVERSA 60 m3 /dia.** Matosinhos, 2014.

BERGMAN, R.A. (2005). ―Membrane Processes‖. In: Randtke, S.J. e Horsley, M.B. (ed) Water Treatment Plant Design. AWWA e ASCE, 13.1-13.49

BRAGA, B. Introdução à engenharia ambiental. 3ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL, LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos** (PNRS).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº430**, de 13 de maio de 2011.

CELERE, M. S. et al. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, n. 4, p. 939–947, abr. 2007.

CHAMON, R.P. **Pós tratamento de lixiviado de aterro industrial pelo processo de osmose reversa: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Setor de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSEN, P.; BJERG, P. L.; JENSEN, D. L.; CHRISTENSEN, J. B.; BAUN, A.; ALBRECHTSEN, H-J.; HERON, G. Biogeochemitry of landfill leachate plumes. **DTU Orbit**. Holanda, v. 16, p.659- 718, 2002.

CUNHA W.F., SILVA, M.L., AMADEU, S.G. Tratamento do chorume pelo processo de osmose reversa na área do aterro sanitário de resíduos urbanos domiciliares. In: **7º ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA QUÍMICA**, Vitória/ES, 2014.

DURANCEAU, S.J., **TAYLOR**, J.S. **Water Quality & Treatment**: A Handbook on Drinking Water. New York: trird, 2011.

EPA. Membrane filtration guidance manual. Office of Water. United States Environmental Protection Agency. Estados Unidos. June, 2003.

FERRARO, R.J.S. Sistema de Osmose Reversa. **Projeto de Graduação-Universidade São Francisco. Campinas**, p. 18-19, 2008.

FIORILLO, C.A.P. **Curso de Direito Ambiental brasileiro**. São Paulo: Saraiva, 2011.

FIPE. 2018. **Aspectos técnicos e econômico-financeiros da implantação, manutenção, operação e encerramento de aterros sanitários.** São Paulo. Disponível em <https://www.selur.com.br/wpcontent/uploads/2017/06/FIPE-RELAT%C3%93RIO-ASPECTOS-ECONOMICO-FINANCEIROSATERROS.pdf>

GERVASONI, R.; KRIGUEL, K.; DE SOUZA, M.E. **Performance de um sistema piloto de ultrafiltração para pré-tratamento de osmose reversa para água salobra–litoral do paraná.** 2018. Disponível em <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/sistema-piloto-de-ultrafiltracao/>.

HABERT, A.C., BORGES, C.P. E NÓBREGA, R. **Processos de separação com membranas**. E-Papers, Rio de Janeiro, 180p, 2006.

JACANGELO, J.G; TRUSSELL, R.R; WATSON, M. **Role of membrane technology in drinking water treatment in the United States.** Desalination, 113, p. 119-127, 1997.

JUNQUEIRA, T.L.; ALBUQUERQUE, E. L.; TOMAZ, E. Estudo sobre compostos orgânicos voláteis em Campinas-SP. In: **VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Campinas, p. 1-6, 2005.

KRISHNA, B. M.; MURTHY, U.N.; KUMAR, B.M.; LOKESH, K.S. Electrochemical pretreatment of distillery wastewater using aluminum electrode. **Journal Applied Electrochemistry**, v.40, p.663-673, 2010.

MACRUZ, P. D. **Avaliação do tratamento do chorume de aterro sanitário por processo de coagulação/floculação com o coagulante tanino e poli cloreto de alumínio**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

MAIA, I.; et al. Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, p. 665-675, 2015.

MANNARINO, C.F.; et al. Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários: experiências no aterro sanitário de Piraí e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 108-112, 2006.

MIERZWA, J.C. **Processos de separação por membranas para tratamento de água.** Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio

de técnicas de tratamento de água para consumo humano. ABES/RJ, Sermograf, Belo Horizonte, MG, 335-379. 2006.

MOREIRA, M.W.A; WIECHETECK, G.K. Qualidade da água em sistema piloto de dessalinização com ultrafiltração e osmose reversa. In: **XXVII Encontro Anual de Iniciação Científica**, 2018. Ponta Grossa.

NÓBREGA, R. M. **Eficiência de Membranas Filtrantes de Nanofiltração e Osmose Inversa no Pós-Tratamento de Esgoto Doméstico**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

PORTELLA, M.O.; RIBEIRO, J.C.J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 1, 2014.

RAMOS, J. B. E. Estudo da viabilidade técnica dos processos de georremediação e oxidação úmida para tratamento de percolados de aterros sanitários (chorume da ETP-Muribeca: um estudo de caso). **Repositório Digital da UFPE**. Pernambuco, 2008.

RIBEIRO. G. M., MAIA. C.E., MEDEIROS. J.F. Uso da Regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.9, n.1, p.15-22, 2004.

SANTOS, R.C.; et al. Usinas de Compostagem de Lixo como alternativa viável à problemática dos lixões no meio urbano. **Enciclopédia Biosfera**, v. 2, 2006.

SERAFIM, Aline Camillo et al. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento. **III Fórum de Estudos Contábeis. Rio Claro: Centro Superior de Educação Tecnológica**, p. 6-7, 2003.

SILVA, V. M. da; et al. **Degradação da matéria orgânica presente em chorume de aterro sanitário e de ciprofloxacino por processos de oxidação avançada**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Química. Universidade Federal de Uberlândia. 2016.

SOARES, A.C.P.; PINHEIRO, C.E.S.C.; SOARES, R. **Análise da eficácia técnica e ambiental do tratamento de chorume por osmose reversa na central de tratamento de resíduos de São Gonçalo**, RJ. 2017. p. 10.

TARTARI, L. C. Avaliação do processo de tratamento do chorume do aterro sanitário de novo Hamburgo. **Revista Liberato**, v. 6, n. 6, 2005.

TOMMASI AMBIENTAL. **Relatório Analítico** 46006/2021.0. 2021.

VALENTE, J.PS; PADILHA, P.M; SILVA, A.M.M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. **Eclética Química**, v. 22, p. 49-66, 1997.

VALLS, M.; LORENZO, V. Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for remediation of heavy metal pollution. FEMS **Microbiology Reviews,** v. 26, p. 327-338, 2002.

VIEGAS, C. Sal e doença cardiovascular. Revista Factores de Risco, n. 10, p.12-18, Jul-Set, 2008.

VIGNESWARAN, S.; SATHANANTHAN, S.; SHON, H. K.; KANDASAMY, J.; VISVANATHAN, C. Delineation of Membrane Process. p 45-58. In: Membrane technology and environmental applications. American Society of Civil Engineers, 2012.