

**Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde
Pública**

***Uso de membranas como alternativa para
remoção de fármacos em efluentes de estações
de tratamento de esgotos***

Fabio Pereira de Carvalho

**Mestrado Profissional em Ambiente, Saúde
e Sustentabilidade da Faculdade de Saúde
Pública da Universidade de São Paulo**

**Linha de pesquisa: Gestão de sistemas
urbanos e inovação tecnológica na
perspectiva da sustentabilidade**

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva
Paganini**

**São
Paulo
2021**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a minha família, por terem sempre apoiado meus estudos, desde a escola até a universidade e a minha esposa Gabriela por estar sempre ao meu lado, me apoiando independente da situação

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares e esposa que sempre deram suporte ao meu desafio de me tornar um mestre

Ao meu orientador Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini pelo interesse em meu projeto e pelas valiosas contribuições ao trabalho.

Aos professores do Programa Ambiente, Saúde e Sustentabilidade pelos ensinamentos e auxílio na elaboração do projeto

Aos doutores Prof. Pedro Caetano Mancuso e Miriam Moreira Bocchiglieri Nihonmatsu, pelas dicas e recomendações da qualificação.

Aos colegas de trabalho na Dow e DuPont, que apoiaram o projeto e que permitiram que, nos momentos críticos, pudesse focar na dissertação.

A liderança da DuPont pelo apoio com os estudos no laboratório dos Estados Unidos

A equipe médica que me suportou durante meu afastamento médico, permitindo uma recuperação completa

Aos colegas Tatiana, Vinícius, Claudia, Cristina e João Reis pelo apoio e suporte com os testes em Brasília.

A equipe de São Paulo, principalmente Claudia Gomes, pelo apoio e informações valiosas sobre tratamento de esgoto

Aos demais funcionários das estações de tratamento de esgotos estudadas, que permitiram a coleta das amostras, inclusive aos finais de semana

RESUMO

Uso de membranas como alternativa para remoção de fármacos em efluentes de estações de tratamento de esgotos

Os sistemas de tratamento de esgotos sanitários no Brasil possuem, em geral, algumas deficiências em termos de remoção de contaminantes, principalmente nutrientes e compostos orgânicos sintéticos introduzidos no meio ambiente pelo ser humano. Um dos tipos de contaminantes emergentes mais comuns em esgotos sanitários são os fármacos, que as tecnologias de tratamento biológico não são projetadas para a remoção de tais compostos. Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência da remoção de fármacos e cafeína em estações de tratamento de esgoto existentes (lagoas de estabilização e lodos ativados), em diferentes pontos do processo, além da inclusão de sistemas pilotos de membranas de ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, como etapa de polimento. Neste sentido, o uso de membranas teve o objetivo de elevar a eficiência de remoção de diferentes compostos. Usando a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS) foi possível estabelecer uma metodologia de análise de fármacos com limites de quantificação baixos de até 0,1 ppb. Dentre os fármacos de interesse, o clonazepam e a sinvastatina não foram identificados em nenhum ponto de amostragem. O paracetamol, cafeína e ibuprofeno foram encontrados no esgoto afluente, sendo completamente removidos pelo tratamento biológico, tanto nas lagoas, como no sistema de lodos ativados. Já a carbamazepina, fármaco reconhecidamente recalcitrante, não foi removida em nenhuma ETE, sendo o sistema de membranas com osmose reversa uma etapa importante para sua remoção. O atenolol apresentou comportamento diferente, com remoção elevada no sistema de lagoas e baixa remoção no sistemas de lodos ativados. Neste sentido, a membrana de nanofiltração demonstrou ser uma importante barreira para evitar contaminação de corpos d'água por esse fármaco. Por fim, a análise econômica indicou que a nanofiltração possui um custo operacional menor que a osmose reversa, contudo com menores níveis de remoção de fármacos e outros contaminantes

PALAVRAS-CHAVE: fármacos, tratamento de esgotos, lodos ativados, lagoas de estabilização, membranas

ABSTRACT

Use of membranes as an alternative for pharmaceuticals removal in effluents from sewage treatment plants

The sanitary sewage treatment systems in Brazil have, in general, some deficiencies in terms of removal of contaminants, mainly nutrients and synthetic organic compounds introduced into the environment by humans. One of the most common types of emerging contaminants in sewage are pharmaceuticals, which biological treatment technologies are not designed to remove such compounds. The main objective of this work was to evaluate the efficiency of pharmaceuticals and caffeine removal in existing sewage treatment plants (stabilization ponds and activated sludge), at different points in the process, in addition to the inclusion of membrane pilot systems of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis, as a polishing step. In this sense, the use of membranes aimed to increase the removal efficiency of different compounds. Using the technique of high performance liquid chromatography coupled with mass spectrometry (LC-MS/MS) it was possible to establish a methodology for pharmaceuticals analysis with low quantification limit of up to 0.1 ppb. Among the drugs of interest, clonazepam and simvastatin were not identified at any sampling point. Paracetamol, caffeine and ibuprofen were found in the raw sewage, being completely removed by biological treatment, both in stabilization ponds and activated sludge system. Carbamazepine, a known recalcitrant pharmaceuticals, was not removed in any WWTP, and the reverse osmosis membrane system was an important step for its removal. Atenolol had a different behavior, with high removal in the stabilization pond system and low removal in activated sludge system. In this sense, the nanofiltration membrane proved to be an important barrier to prevent contamination of water bodies by this compound. Finally, the economic analysis indicated that nanofiltration has a lower operational cost than reverse osmosis, however with lower levels of pharmaceuticals and other compounds removal.

KEYWORDS: pharmaceuticals, sewage treatment, activated sludges, stabilization ponds, membranes

SUMÁRIO

1. Introdução.....	15
2. Objetivos.....	17
2.1. Objetivo geral:	17
2.2. Objetivos específicos:.....	17
3. Revisão da literatura	19
3.1. Situação do esgotamento sanitário no Brasil	19
3.2. Fármacos no esgoto.....	20
3.3. Fármacos de interesse no trabalho	22
3.3.1. Ibuprofeno	22
3.3.2. Paracetamol	23
3.3.3. Atenolol	24
3.3.4. Sinvastatina.....	25
3.3.5. Carbamazepina.....	26
3.3.6. Cafeína.....	27
3.3.7. Clonazepam	28
3.4. Tecnologias empregadas nas ETEs brasileiras.....	29
3.5. Níveis e fases dos processos de tratamento de esgotos	31
3.5.1. Tratamento preliminar	31
3.5.2. Tratamento primário	32
3.5.3. Tratamento secundário	34
3.5.4. Tratamento terciário	34
3.6. Processos de tratamento pesquisados neste trabalho	35
3.6.1. Lagoas de estabilização.....	35
3.6.2. Lodos ativados	39
3.7. Polimento de efluentes tratados por membranas	43
3.7.1. Ultrafiltração	43
3.7.2. Nanofiltração	46
3.7.3. Osmose reversa	48
3.8. Análise de fármacos via LC-MS/MS.....	50
4. Materiais e métodos.....	52
4.1. Locais de estudo	52
4.1.1. ETE RJ (São Paulo):.....	52
4.1.2. ETE BN (Distrito Federal):.....	53
4.2. Sistemas piloto por membranas	54
4.2.1. Sistema piloto ETE RJ	54

4.2.1.1.	Ultrafiltração.....	54
4.2.1.2.	Osmose reversa.....	55
4.2.2.	Sistema piloto ETE BN.....	566
4.2.2.1.	Ultrafiltração.....	56
4.2.2.2.	Nanofiltração.....	57
4.3.	Amostragem	58
4.3.1.	Pontos de amostragem	59
4.3.1.1.	ETE RJ.....	59
4.3.1.2.	ETE BN.....	59
4.3.2.	Frequência analítica:.....	60
4.4.	Análises laboratoriais	60
4.4.1.	Parâmetros de qualidade	60
4.4.2.	Reagentes e materiais	61
4.4.3.	Equipamentos e acessórios	63
4.5.	Desenvolvimento método para quantificação dos fármacos	63
4.5.1.	Preparação dos padrões.....	63
4.5.2.	Condições da cromatografia líquida.....	64
4.5.3.	Condição da espectrometria de massas	66
5.	Resultados e discussões	67
5.1.	Curvas de calibração com padrões em diferentes concentrações	67
5.2.	Cromatogramas dos padrões analíticos e internos	67
5.3.	Resultados análises físico-químicos.....	67
5.3.1.	Temperatura, pH, condutividade e cor	68
5.3.2.	Alumínio, ferro, dureza e sulfato	72
5.3.3.	Carbono orgânico total, amônia, nitrato, nitrogênio e fósforo total	76
5.4.	Resultados análises de fármacos e cafeína	81
5.5.	Dimensionamento com software	87
5.6.	Estimativa de custos.....	89
6.	Conclusões	94
7.	Referências.....	99
	Apêndices	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Eficiências de remoção típicas das diferentes configurações de lagoas	39
Tabela 2. Parâmetros, instrumentos e métodos analíticos aplicados	60
Tabela 3: Gradiente das fases móveis da cromatografia líquida	65
Tabela 4: Gradiente das fases móveis da cromatografia líquida (somente sinvastatina)	65
Tabela 5: Condições de monitoramento da espectrometria de massas	66
Tabela 6. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE RJ	68
Tabela 7. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE RJ	68
Tabela 8. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE BN	70
Tabela 9. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE BN	71
Tabela 10. Dados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE RJ	72
Tabela 11. Dados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE RJ	73
Tabela 12. Dados de ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE BN	74
Tabela 13. Dados de ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE BN	74
Tabela 14. Dados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE RJ	76
Tabela 15. Dados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da segunda rodada de análises da ETE RJ	76
Tabela 16. Rejeição típica de orgânicos com membranas de osmose Filmtec™	78
Tabela 17. Dados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE BN	79

Tabela 18. Dados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da segunda rodada de análises da ETE BN	80
Tabela 19. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE RJ	81
Tabela 20. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da segunda rodada de análises da ETE RJ	82
Tabela 21. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE BN	84
Tabela 22. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da segunda rodada de análises da ETE BN	85
Tabela 23. Descrição dos sistemas UF + NF e UF + OR para uma vazão de alimentação de 108 m ³ /h	87
Tabela 24: Descrição dos sistemas UF + CCNF e UF + CCRO para uma vazão de alimentação de 108 m ³ /h	88
Tabela 25. Custos de membranas, químicos, energia e disposição de lodo usados nas estimativas	90
Tabela 26. Consumo de energia e químicos UF+NF para uma unidade de 108 m ³ /h	91
Tabela 27. Consumo de energia e químicos UF+OR para uma unidade de 108 m ³ /h	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rotas dos fármacos no meio ambiente	21
Figura 2: Estrutura química do ibuprofeno	22
Figura 3: Estrutura química do paracetamol	23
Figura 4. Estrutura química do atenolol	24
Figura 5. Estrutura química das sinvastatina	25
Figura 6. Estrutura química da carbamazepina	26
Figura 7. Estrutura química da cafeína	27
Figura 8. Estrutura química do clonazepam	28
Figura 9. Tecnologias empregadas nas ETEs brasileiras (até 80% de remoção de DBO) e suas respectivas eficiências e números de unidades	29
Figura 10. Tecnologias empregadas nas ETEs brasileiras (acima de 80 % de remoção de DBO) e suas respectivas eficiências e números de unidades	30
Figura 11. Processos de tratamentos em ETEs por população atendida	30
Figura 12. Exemplo de um gradeamento na entrada de estação de tratamento de esgoto	31
Figura 13. Exemplo de desarenador com sucção de areia em ponte rolante	32
Figura 14. Exemplo de decantador primário	33
Figura 15. Exemplo de filtro de carvão ativado	35
Figura 16. Diferentes tipos de sistemas de lagoas de estabilização	37
Figura 17. Esquema de um sistema de lagoas anaeróbia, facultativa e maturação	38
Figura 18. Fluxograma típico de um sistema de lodos ativados convencional com tratamento de lodo	40
Figura 19. Variações de sistemas de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes	42
Figura 20. Sentidos de filtração típicos de membranas de ultrafiltração	44
Figura 21. Diferentes tipos de membranas pressurizadas	45
Figura 22. Diferentes tipos de membranas submersas	45
Figura 23. Detalhamento das partes de uma membrana de nanofiltração ou osmose reversa	46
Figura 24. Exemplo de um sistema de membranas com dois estágios	47
Figura 25. Exemplo de um equipamento de nanofiltração	48

Figura 26. Fluxograma de um sistema Closed-Circuit Desalination™	49
Figura 27. Esquema de um sistema de cromatografia líquida típico	51
Figura 28. Esquema de um sistema de espectrometria de massas	51
Figura 29: Foto das lagoas de estabilização da ETE RJ	52
Figura 30: Foto aérea da ETE BN	53
Figura 31. Sistema de ultrafiltração instalado na saída da ETE RJ	54
Figura 32. Célula de fluxo usada no teste com osmose reversa	55
Figura 33: Piloto de ultrafiltração, instalada em container	56
Figura 34: Sistema piloto de nanofiltração	57
Figura 35. Frascos usados nas coletas da ETE RJ	58
Figura 36. Pontos de amostragem da ETE RJ	67
Figura 37. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE RJ	68
Figura 38. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE RJ	69
Figura 39. Pontos de amostragem da ETE BN	70
Figura 40. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE BN	70
Figura 41. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE BN	71
Figura 42. Resultados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE RJ	72
Figura 43. Resultados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE RJ	73
Figura 44. Resultados de ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE BN	74
Figura 45. Resultados de ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE BN	75
Figura 46. Resultados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE RJ	76
Figura 47. Resultados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da segunda rodada de análises da ETE RJ	77
Figura 48. Membrana de UF após filtração com grande quantidade de algas retidas	77

Figura 49. Resultados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE BN	79
Figura 50. Resultados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE BN	80
Figura 51. Resultados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE RJ	82
Figura 52. Resultados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE RJ	82
Figura 53. Gráfico de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE BN	84
Figura 54. Resultados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da segunda rodada de análises da ETE BN	85
Figura 55. Distribuição dos custos de implantação para um sistema de NF/OR	90

SIGLAS UTILIZADAS

- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- BWRO - Brackish water reverse osmosis
- CCNF - Closed Circuit Nanofiltration
- CCRO - Closed Circuit Reverse Osmosis
- COT - Carbono orgânico total
- DBO - Demanda bioquímica de oxigênio
- DQO - Demanda química de oxigênio
- EPA - Environmental Protection Agency
- ETE - Estação de tratamento de esgoto
- FDA - Food and Drug Administration
- HPLC - High Performance Liquid Chromathography (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência)
- IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada Koc -
Coeficiente de adsorção
- LC-MS/MS - Cromatografia líquida alta eficiência
acoplada à espectrometria de massas
- m/z - Relação massa / carga.
- MLD - minimal liquid discharge
- MRM - Multiple reaction monitoring
- NF - Nanofiltração
- ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- OR - Osmose reversa
- PSM - Processos de separação por membranas
- SWRO - Seawater reverse osmosis
- UF - Ultrafiltração
- UHPRO - Ultra high pressure reverse osmosis
- ZLD - zero liquid discharge

1. Introdução

O lançamento de esgotos domésticos nos corpos d'água sem adequado tratamento e/ou qualidade adequada, resulta em comprometimento das águas e pode inviabilizar o atendimento aos usos atuais e futuros dos recursos hídricos. No Brasil, o cenário atual da coleta e tratamento de esgotos é bastante preocupante (ANA, 2017, SNIS, 2018):

- Em média, apenas 53,2% do esgoto é coletado;
- Apenas 46,3% do esgoto é tratado;
- A maior parte da população brasileira (100,7 milhões de pessoas em 2035) estará em 840 centros urbanos que demandam solução complementar (busca de novo corpo receptor, disposição no solo ou reúso do efluente) ou solução conjunta (definição conjunta do nível de tratamento dos municípios da bacia hidrográfica) para resolver o problema de esgotamento sanitário;
- Os investimentos necessários para universalizar os serviços de esgotamento sanitário nas sedes urbanas do País são da ordem de bilhões de reais anualmente.

A situação brasileira revela que a questão dos esgotos é um grande problema de saúde pública e deve ser objeto de estudos e implementação de soluções sustentáveis, de modo a melhorar a qualidade de vida da população, reduzindo os impactos para as próximas gerações. Outro ponto importante é que as legislações brasileiras exigem tratamento secundário e que os efluentes tratados não desenquadrem os corpos d'água, porém cada vez mais o aporte de nutrientes e a contaminação por contaminantes emergentes (como poluentes orgânicos persistentes, fármacos, hormônios), que tipicamente não são completamente removidos nas estações de tratamento de esgotos (ETEs) atuais, gera preocupações nas mais diversas áreas de saúde e meio ambiente.

O desenvolvimento tecnológico permite avanços em diversas áreas do conhecimento e de interesse para a população em geral. Na área farmacêutica, anualmente, diversas novas moléculas são desenvolvidas para tratar as mais

diversas doenças que afetam a saúde e representam novas formas de tratamento para os pacientes (FDA, 2018). A introdução destes novos compostos traz benefícios, porém podem representar potenciais novas fontes de contaminação ambiental. As rotas de contaminação destes compostos passam principalmente pelo descarte inadequado de medicamentos, excreção pelas fezes e urina após o uso, e descarte inadequado de efluentes industriais.

O avanço das tecnologias analíticas permite agora a detecção e quantificação de fármacos em águas em concentrações muito baixas. Apesar de haverem relatos de produtos farmacêuticos nos canais de água dos EUA nos anos 70, somente recentemente houve uma maior interesse pelo assunto. Os fármacos possuem o banco de dados mais robusto de qualquer contaminante ambiental em termos de saúde humana, pois esses compostos passam por rigorosos testes clínicos durante o registro e pós-registro. Porém os impactos à saúde pública destes compostos presentes nas águas ainda são pouco conhecidos. (NACWA, 2010).

Práticas como a automedicação e uso excessivo de medicamentos são comuns ao redor do globo, demonstrando que a sociedade atual, em geral, possui um padrão de vida bastante afetado por tensões, stress e demanda física. Estas condições criam padrões de consumo, que aliados à intensa comercialização e uso de ações midiáticas, podem levar aos diversos tipos de problemas relacionados à saúde pública, como intoxicações e reações adversas, mas também à intensificação dos efeitos antrópicos negativos ao meio ambiente, incluindo a contaminação das águas. (DOMINGUES et al, 2015)

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral:

Avaliar a eficiência dos processos de membranas de ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa na remoção de contaminantes, com foco em fármacos, como etapa de polimento em duas estações de tratamento de esgotos (ETE) em funcionamento.

2.2. Objetivos específicos:

- Teste em campo para avaliação qualitativa do esgoto tratado em diferentes operações unitárias e usando diferentes combinações de membranas
- Avaliar de forma compartimentada as diferentes etapas do processo de tratamento de esgotos e as respectivas eficiências na remoção dos fármacos e outros contaminantes;
- Levantamento de custos de implantação das tecnologias avaliadas e estimar custos operacionais com dados de mercado

No que diz respeito à temática da dissertação, é importante ressaltar que esses objetivos estão alinhados com alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), principalmente:

- Objetivo 6: “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos:
6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados a água e ao saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso”. Neste sentido, a cooperação entre empresas nacionais e internacionais fornecedores de tecnologia é essencial para os avanços necessários visando melhorias dos sistemas de tratamento atuais, que necessitam de

atualizações e melhorias operacionais, a fim de enfrentar os desafios contemporâneos no saneamento ambiental.

- Objetivo 3: “Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades:

3.9 Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo”. Importante neste caso que os fármacos despejados em corpos d’água podem impactar negativamente a fauna e flora, além de trazer riscos à saúde humana.

- Objetivo 12: “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis:

12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente”. O descarte de medicamentos vencidos ou sem uso representa grande risco à todos. Neste sentido, iniciativas de logística reversa e economia circular são imprescindíveis para diminuir o impacto ambiental.

- Objetivo 14: “Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável

14.1 Até 2025, prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes”. Os oceanos são grandes receptores de esgotos, através de descarte irregular ou mesmo emissários submarinos. Esta situação traz grandes riscos à vida marinha e o acúmulo de contaminantes neste meio também impacta toda uma cadeia alimentar, causando problemas ao próprio ser humano que gerou esta contaminação.

3. Revisão da literatura

3.1. Situação do esgotamento sanitário no Brasil

O sistema de esgotamento sanitário no Brasil é deficitário, já que muitos locais ainda não possuem sequer rede de coleta dos esgotos. Tecnologias atualmente utilizadas são focadas no tratamento primário (remoção de sólidos, lixo que chega até as ETEs) e secundário (remoção biológica de matéria orgânica). Apenas uma parcela dos sistemas possui tratamento terciário para remoção de nutrientes que podem causar eutrofização em corpos receptores. A situação atual do Brasil é de que apenas 53,2% da população possui esgoto coletado, enquanto 46,3% possui tanto coleta de esgoto como tratamento de esgoto (SNIS, 2018)

Esta situação impacta diretamente nos sistemas de abastecimento de água. Atualmente no Brasil, mais de 110 mil km de corpos d'água estão com a qualidade comprometida devido ao excesso de poluição por carga orgânica, sendo que em 83.450 km a captação para abastecimento público, devido a poluição, é inviabilizada, e em 27.040 km a captação pode ser feita, mas requer tratamento avançado (ANA, 2017).

A necessidade de investimentos na coleta e melhorias do tratamento trazem oportunidades de implementação de novas tecnologias que possam atender as necessidades atuais e futuras, incluindo no escopo dos projetos, remoção de contaminantes, como os fármacos, que, no passado, nunca foram objeto de preocupação. Em suma, busca-se a resposta para a complexa questão no tratamento de esgoto: quais os níveis de tratamento devem ser usados, em determinada aplicação e além dos limites de descarte, para garantir a proteção da saúde pública e do meio ambiente? (METCALF & EDDY, 2003)

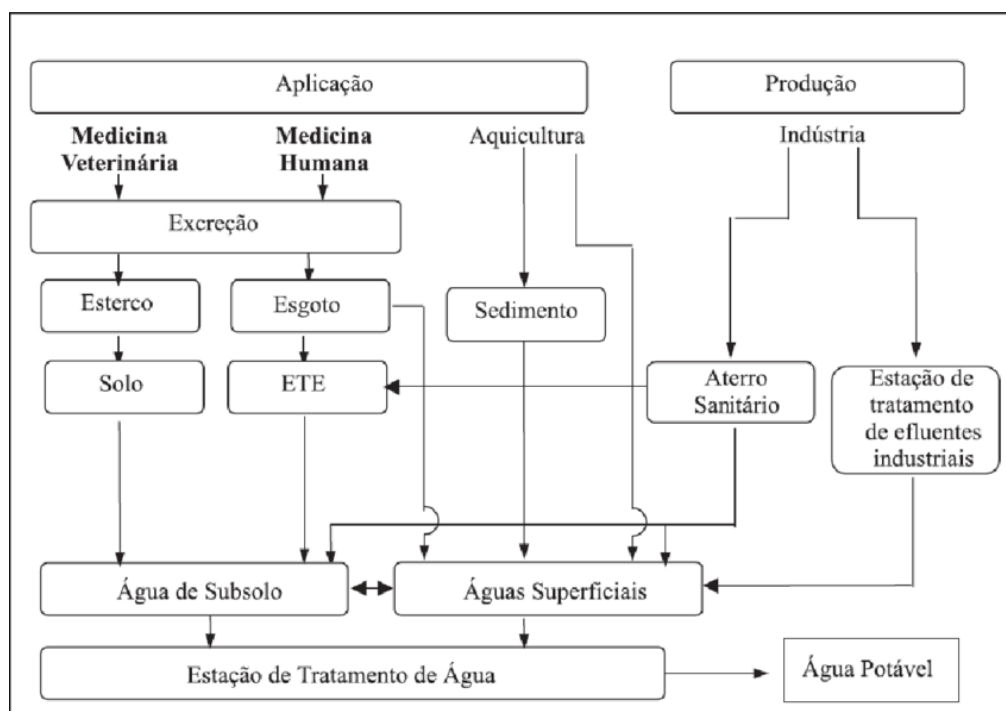
3.2. Fármacos no esgoto

O crescente uso de fármacos e o constante desenvolvimento de novas moléculas todos os anos representa um avanço em termos de novas terapias para diferentes doenças, contudo o uso em excesso e descarte inadequado geram preocupações em diferentes partes do mundo. Os impactos ambientais, à fauna, e à saúde humana muitas vezes não são totalmente conhecidos e elucidados, assim é extremamente importante entender os riscos associados à essas substâncias e forma de mitigação de tais impactos potenciais.

Os estudos da presença de fármacos nos esgotos vêm crescendo mundialmente, porém ainda não possuem a mesma extensão no Brasil. Em geral, estes estudos possuem grande variabilidade de resultados na ocorrência e concentração dos fármacos em diferentes matrizes ambientais (GUEDES, 2017). Entre os maiores desafios da atualidade podemos destacar a questão das substâncias que são suspeitas de alterar as funções do sistema endócrino causando efeitos negativos à saúde, os chamados perturbadores endócrinos (SIMÕES, 2016).

O controle das fontes de poluição por fármacos, seria a princípio, a situação ideal. Porém a dificuldade de controlar o consumo de medicamentos, identificação de pontos de descarte, e a inerente excreção dos fármacos e seus metabólitos, transfere o problema para o esgoto – foco deste estudo. Apesar de muitos destes compostos serem identificados em águas superficiais e água potável (HEBERER, 2002, WHO, 2011), uma das principais rotas de contaminação está relacionada ao despejo de esgoto ou efluentes industriais sem tratamento, ou até mesmo com diferentes níveis de tratamento, que tipicamente não são projetados para remoção deste tipo de contaminante. As rotas típicas do fármacos no meio ambiente estão representadas na Figura 1.

Figura 1. Rotas dos fármacos no meio ambiente



Fonte: MISTURA & LOPES, 2011

Os processos de tratamento podem reduzir substancialmente as concentrações de fármacos, no entanto, o grau de eficácia depende da estrutura química, custos e energia. Todos os processos de tratamento apresentam vantagens e desvantagens, como a geração de resíduos ou subprodutos e devem ser realizadas análises completas de ciclo de vida para garantir que as soluções apresentadas não sejam piores do que o próprio problema (NACWA, 2010).

Atualmente os processos de separação por membranas (PSM) são um dos tipos de tratamento mais promissores no tratamento de água e esgotos, principalmente quando há necessidade de elevada remoção de contaminantes sobretudo aqueles presentes em baixas concentrações, mas que podem causar efeitos adversos. A inovação constante na criação de membranas mais eficientes, com custos de implantação e operação cada vez mais atrativos tem contribuído para a disseminação destas tecnologias (SIMÕES, 2016), tema que será aprofundado neste trabalho.

Ao analisar a remoção de fármacos nos esgotos sanitários tratados e uso de tecnologia de membranas para sua remoção, várias áreas do conhecimento são importantes, principalmente:

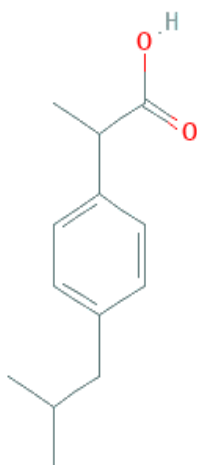
- Farmácia e Saúde Pública: papel dos fármacos e possíveis impactos da presença em esgotos e águas;
- Química: propriedades físico-químicas dos compostos, reatividade e técnicas analíticas de detecção e quantificação;
- Engenharias: aspectos técnicos das tecnologias convencionais usadas no tratamento de esgoto e alternativas tecnológicas de tratamento avançado, além de avaliação de custos de implementação e operacionais;
- Meio Ambiente: análise de impacto ambiental tanto na questão de qualidade dos esgotos tratados como também relacionado às próprias tecnologias utilizadas no tratamento e seus resíduos.

3.3. Fármacos de interesse no trabalho

3.3.1. Ibuprofeno

- Nomenclatura IUPAC: Ácido (RS)-2-(4-(2-metilpropil)fenil)propanóico
- Peso molecular: 206.28 g/mol

Figura 2: Estrutura química do ibuprofeno:



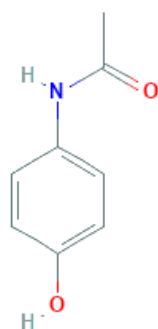
Fonte: PubChem, 2020

- Nomes comerciais: Advil®, Alivium®, Dalsy®, Buscofem®, Artril®, Motrim®
- Usos: analgésico e antitérmico
- Disponibilidade no Sistema Único de Saúde: Disponível
- Consumo anual em 2018 (ANVISA, 2019): 50 a 100 milhões de unidades, 6° no ranking

3.3.2. Paracetamol

- Nomenclatura IUPAC: N-(4-hidroxifenil)etanamida
- Peso molecular: 151.16 g/mol

Figura 3: Estrutura química do paracetamol:



Fonte: PubChem, 2020

- Nomes comerciais: Abidor®, Zuplyn®, Paramol®, Anador Prt®, Tyneo®, Tyflen®, Dorfen®, Cyfenol®, Cimegripe®, Cimegripe Bebê®, Din®, Paralgen®, Emsgrip®, Corassetil®, Paracef®, Tylalgin®, Sonridor®, Paracen®, Paratermol®, Tylenol®, Tylenol Ap®, Trifen®, Fervex®, Resfenol Thermus®, Pyrimel®, Piramin®, Acetitol®, Tilekin®, Cefabrina®, Tyneo®, Paracemil®, Tylidol®, Pacemol®, Thylom®, Paralgen®, Cetafrin®, Cristina Termus®, Pratum®, Tylaflex®, Dorsanol®, Tylemax®, Acetamil®, Trimedal D&F®, Cedrilax®, Elcodrix®, Paraflan®, Tylol®, Vick Pyrena®, Paracetrex®,

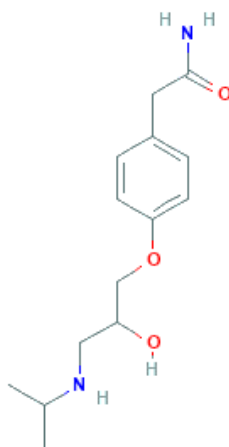
Tylecetamol®, Dôrico®, Analgisen®, Termol®, Unigrip®, Dorfenol®

- Usos: Dor leve a moderada, Febre, Enxaqueca
- Forma de apresentação: solução oral de 200mg/mL, comprimido de 500mg e 750mg, comprimido efervescente de 3g, pó para preparação extemporânea 500mg e suspensão oral de 100mg
- Disponibilidade no Sistema único de Saúde: Disponível
- Consumo anual em 2018 (ANVISA, 2019): 25 a 50 milhões de unidades, 14° no ranking

3.3.3. Atenolol

- Nomenclatura: (RS)-2-[4-[2-hidroxi-3-(1-metiletilamino)propoxi]fenil]etanamida
- Peso molecular: 266.34 g/mol

Figura 4. Estrutura química do atenolol:



Fonte: PubChem, 2020

- Nomes comerciais: Atenol®, Biotenor®, Ablok®, Angipress®, Atecard®, Telol®, Atenuol®, Regulapress®, Angitens®, Atenokin®, Ateneo®, Ateneum®, Atepress®, Plenacor®, Atenobal®, Atenolab®, Angiless®, Ritcor®, Atenoton®, Atenopress®, Tenolon®.
- Usos: Controle da hipertensão arterial; Controle da angina pectoris; Controle de arritmias cardíacas; Tratamento do infarto do miocárdio;

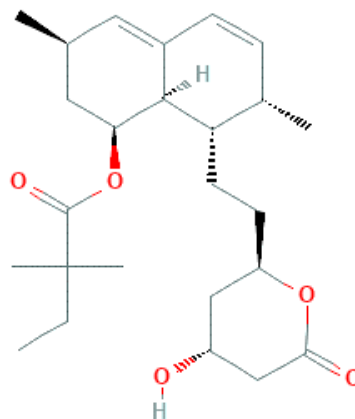
Intervenção precoce e tardia após infarto do miocárdio

- Forma de apresentação: comprimido 25mg, 50mg e 100mg
- Disponibilidade no Sistema único de Saúde: Disponível
- Consumo anual em 2018 (ANVISA, 2019): 50 a 100 milhões de unidades, 11° no ranking

3.3.4. Sinvastatina

- Nomenclatura IUPAC: (1S,3R,7S,8S,8aR)-8-{2-[(2R,4R)-4-hydroxy-6-oxooxan-2-yl]ethyl}-3,7-dimethyl-1,2,3,7,8,8a-hexahydronaphthalen-1-yl 2,2-dimethylbutanoate
- Peso molecular: 418.6 g/mol

Figura 5. Estrutura química das sinvastatina:



Fonte: PubChem, 2020

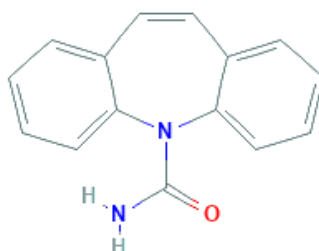
- Nomes comerciais: Vaslip®, Sinvane®, Sinvastamed®, Cordiron®, Sinvatrox®, Sinvalip®, Sinvax®, Lipistatina®, Sinvasmax®, Revastin®, Sinvascor®, Mevilip®, Sinvatrox®, Vastatil®, Lipotex®, Clinfar®, Zocor®, Menocol®, Sinvastin®, Sinvastacor®, Sinvaston®, Liptrat®
- Usos: Doença coronariana e Hiperlipidemia:
- Forma de apresentação: comprimido de 5mg, 10mg, 20mg, 40mg e 80mg
- Disponibilidade no Sistema único de Saúde: Disponível

- Consumo anual em 2018 (ANVISA, 2019): 50 a 100 milhões de unidades, 12º no ranking

3.3.5. Carbamazepina

- Nomenclatura IUPAC: 5H-Dibenzo[b,f]azepina-5-carboxamida
- Peso molecular: 236.27 g/mol

Figura 6. Estrutura química da carbamazepina:



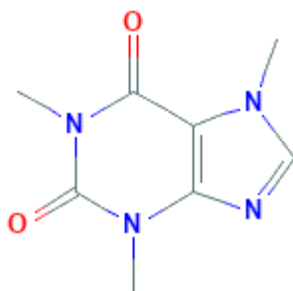
Fonte: PubChem, 2020

- Nomes comerciais: Tegrezin®, Tegretard®, Tegrex®, Carmazin®, Tegretol®, Tegretol CR®, Vate®, Uni Carbamaz®
- Usos: Epilepsia, Mania aguda e tratamento de manutenção em distúrbios afetivos bipolares, Síndrome de abstinência alcoólica, Neuralgia idiopática do trigêmeo e neuralgia trigeminal em decorrência de esclerose múltipla (típica ou atípica), Neuralgia glossofaríngea idiopática, Neuropatia diabética dolorosa, Diabetes insípida central, Poliúria e polidipsia de origem neuro-hormonal.
- Formas de apresentação: comprimido 120mg, 200mg e 400mg, e suspensão oral 20mg/mL
- Disponibilidade no Sistema único de Saúde: Disponível
- Consumo anual:

3.3.6. Cafeína*

- Nomenclatura IUPAC: 1,3,7-trimetil- 1H-purino- 2,6(3H,7H)-diona
- Peso molecular: 194.19 g/mol

Figura 7. Estrutura química da cafeína:



Fonte: PubChem, 2020

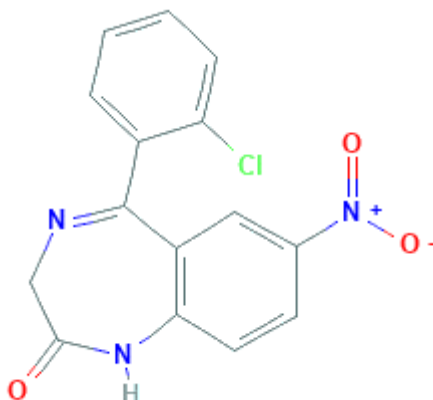
- Nomes comerciais: PEYONA®, DORIL®, CORISTINA D®, BENOFLEX P®, MIOSAN CAF®, NEOSALDINA®, CAFILISADOR®, BENEGRIP®, DORFLEX®, ENGOV®, PARCEL®, CEFALIUM®, CIBALENA A®, TYLENOL DC®, TORSILAX®, SONRIDOR CAF®
- Usos: estimulante do sistema nervoso central e adjuvante analgésico
- Formas de apresentação: solução injetável 20mg/mL, comprimidos, solução oral, drágeas
- Disponibilidade no Sistema único de Saúde: Disponível
- Consumo anual em 2018 (ANVISA, 2019): 25 a 50 milhões de unidades, 15° no ranking

* Como parte da formulação, não como fármaco/princípio ativo

3.3.7. Clonazepam

- Nomenclatura: 5-(2-Clorofenil)-7-nitro-2,3-di-hidro-1H-1,4-benzodiazepina-2-ona
- Peso molecular: 315.71 g/mol

Figura 8. Estrutura química do clonazepam



Fonte: PubChem, 2020

- Nomes comerciais: Clopam®, Zilepam®, Navotrax®, Epileptil®, Rivotril®, Clonazepam®
- Usos: Utilizado isoladamente ou como adjuvante (auxiliar) no tratamento de crises epiléticas, de crises de ausências típicas (pequeno mal), de ausências atípicas (síndrome de Lennox-Gastaut), espasmos infantis (Síndrome de West), em crises epiléticas do tipo grande mal, transtornos de Ansiedade, distúrbio do pânico, Fobia social, transtornos do humor, tratamento da acatisia, tratamento da síndrome das pernas inquietas, tratamento da vertigem e sintomas relacionados à perturbação do equilíbrio, como náuseas, vômitos, pré-síncope ou síncope, quedas, zumbidos e distúrbios auditivos, tratamento da síndrome da boca ardente.
- Formas de apresentação: solução oral 2,5mg/mL, comprimido 0,5mg e 2mg e comprimido sublingual 0,25mg
- Disponibilidade no Sistema único de Saúde: Disponível, porém controlado

- Consumo anual em 2017 (ANVISA, 2018): 25 a 50 milhões de unidades, 20º no ranking

3.4. Tecnologias empregadas nas ETEs brasileiras

O trabalho foi voltado à avaliação da eficiência de um tratamento adicional do efluente de ETEs, utilizando o processo de membranas como polimento, especialmente em termos de taxas de remoção de contaminantes reconhecidamente difíceis de serem removidos pelo tratamento secundário convencional. Diversas tecnologias já são empregadas nos municípios brasileiros, destacando-se os sistemas primários, reatores anaeróbios, lagoas e lodos ativados, conforme observado nas figuras 9, 10 e 11.

Figura 9. Tecnologias empregadas nas ETEs brasileiras (até 80% de remoção de DBO) e suas respectivas eficiências e números de unidades

FAIXAS DE REMOÇÃO DE DBO	PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRATAMENTO NO BRASIL	SIGLA	POPULAÇÃO EQUIVALENTE (em mil hab.)	EFICIÊNCIA MÉDIA (%)	NÚMERO DE UNIDADES
até 60%	PRIMARIO	Pr	7.947,6	35%	21
	FOSSA FILTRO/FOSSA SEPTICA + FILTRO AEROBIO/TANQUE IMHOFF + FILTRO BIOLOGICO	FosFil/FosSep+FilAer/Tq/mh+FIIB	340,1	49%	215
	FOSSA SEPTICA/TANQUE IMHOFF	FosSep/Tq/mh	49,2	51%	23
	TOTAL				259
60% a 80%	FOSSA FILTRO/(FOSSA SEPTICA + FILTRO BIOLOGICO) + DISPOSIÇÃO NO SOLO/SUMIDOURO	FosFil/(FosSep+FIIB)+DispS/Sum	6,4	66%	10
	REATOR ANAEROBIO + LODOS ATIVADOS	RtrAn+LodAt	26,3	80%	2
	LAGOA ANAEROBIA	LagAn	812,8	68%	68
	PRIMARIO COM FÍSICO QUÍMICO (FILTRO AEROBIO/DECANTAÇÃO/CEPT/FLOTAÇÃO)	PrFisQ/FilAer/Dec/Cept/Fit	1.902,5	68%	13
	REATOR ANAEROBIO	RtrAn	3.876,5	69%	328
	REATOR ANAEROBIO + DECANTADOR	RtrAn+Dec	226,7	72%	16
	LODOS ATIVADOS MEIO FIXO (FILTRO BIOLOGICO)	LodAtMF(FIIB)	323,1	73%	22
	REATOR ANAEROBIO + FILTRO BIOLOGICO	RtrAn+FIIB	1.300,0	75%	177
	LAGOA FACULTATIVA	LagFac	1.421,0	76%	203
	LAGOA ANAEROBIA + LAGOA FACULTATIVA	LagAn+LagFac	5.533,8	77%	364
	REATOR ANAEROBIO + DISPOSIÇÃO NO SOLO	RtrAn+DispS	183,3	77%	16
	REATOR ANAEROBIO + FILTRO AEROBIO	RtrAn+FilAer	635,8	77%	64
	REATOR ANAEROBIO + LAGOA ANAEROBIA/FACULTATIVA/DE MATURAÇÃO	RtrAn+LagAn/Fac/Mat	3.023,5	78%	145
	TOTAL				1.428

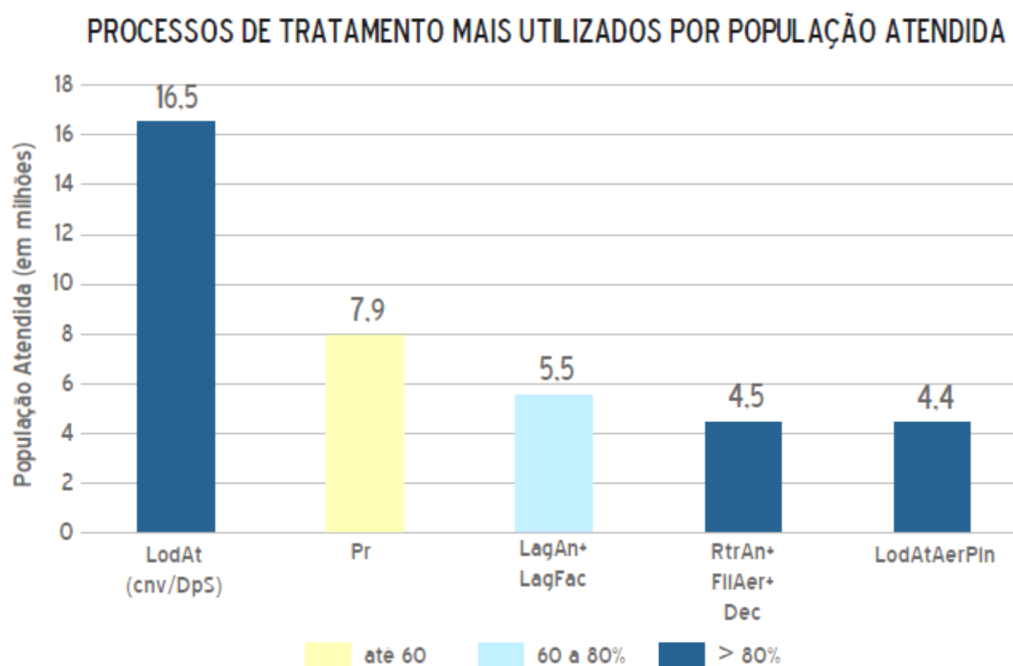
Fonte: ANA, 2017

Figura 10. Tecnologias empregadas nas ETEs brasileiras (acima de 80 % de remoção de DBO) e suas respectivas eficiências e números de unidades

> 80%	LAGOA AERADA	LagArd	743.6	80%	42
	REATOR ANAERÓBIO + FILTRO AERÓBIO + DECANTADOR	RtrAn+FilAer+Dec	4.436.9	80%	121
	REATOR ANAERÓBIO + FILTRO BIOLÓGICO + DISPOSIÇÃO NO SOLO	RtrAn+FilB+DispS	70.6	80%	15
	REATOR ANAERÓBIO + FILTRO BIOLÓGICO + FILTRO AERÓBIO + DECANTADOR	RtrAn+FilB+FilAer+Dec	76.5	80%	10
	LODOS ATIVADOS DE AERAÇÃO PROLONGADA	LodAtAerPin	4.479.0	88%	91
	LAGOA ANAERÓBIA + LAGOA FACULTATIVA + LAGOA DE MATUREZAÇÃO	LagAn+LagFac+LagMat	1.930.4	81%	134
	LAGOA FACULTATIVA + LAGOA DE MATUREZAÇÃO	LagFac+LagMat	1.212.5	81%	119
	LAGOA AERADA + LAGOA DE DECANTAÇÃO/FACULTATIVA/MATUREZAÇÃO	LagArd+LagDec/Fac/Mat	2.349.0	82%	64
	REATOR ANAERÓBIO + LAGOA AERADA	RtrAn+LagArd	611.2	83%	12
	LODOS ATIVADOS (CONVENCIONAL/DEEP SHAFT)	LodAt(cnv/DpS)	16.538.9	84%	110
	REATOR ANAERÓBIO + LAGOA AERADA + LAGOA FACULTATIVA/MATUREZAÇÃO	RtrAn+LagArd+LagFac/Mat	322.9	85%	7
	REATOR ANAERÓBIO + LODOS ATIVADOS	RtrAn+LodAt	3.964.8	86%	90
	LAGOA AERADA + LAGOA FACULTATIVA + LAGOA DE MATUREZAÇÃO	LagArd+LagFac+LagMat	658.2	87%	14
	REATOR ANAERÓBIO + LODOS ATIVADOS DE AERAÇÃO PROLONGADA	RtrAn+LodAtAerPin	53.4	88%	4
	REATOR ANAERÓBIO + LAGOA FACULTATIVA + DISPOSIÇÃO NO SOLO	RtrAn+LagFac+DispS	226.7	89%	6
	TOTAL				839
> 80% (com remoção de nutrientes)	REATOR ANAERÓBIO + FILTRO BIOLÓGICO + FILTRO AERÓBIO + DECANTADOR	RtrAn+FilB+FilAer+Dec	0.6	87%	1
	LODOS ATIVADOS EM BATELADA (CONVENCIONAL/UNITANK) - REM. N	LodAtBat(cnv/utk)-RemN	1.431.8	88%	80
	LODOS ATIVADOS - REM. N (MBBR/IFAS)	LodAt-RemN(MBBR/IFAS)	365.5	88%	7
	REATOR ANAERÓBIO + FÍSICO QUÍMICO (DECANTAÇÃO/FLOTAÇÃO) - REM. P	RtrAn+FisQ(Dec/Fit)-RemP	2.401.4	88%	33
	LODOS ATIVADOS COM REMOÇÃO FÍSICO QUÍMICA DE NUTRIENTES - REM. N & P	LodAtRemFisQNut-RemNP	95.3	91%	5
	LODOS ATIVADOS COM REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES - REM. N	LodAtRemBNut-RemN	153.5	93%	3
	LODOS ATIVADOS COM REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES - REM. N & P	LodAtRemBNut-RemNP	46.6	95%	2
	TOTAL				131

Fonte: ANA, 2017

Figura 11. Processos de tratamentos em ETEs por população atendida



Onde: LodAt (cnv/Dps) = lodos ativados (convencional/deep shaft); Pr = Primário; LagAn+LagFac = Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa; RtrAn+FilAer+Dec = Reator anaeróbio + Filtro aeróbio + Decantador; LodAtAerPin = Lodos ativados de aeração prolongada

Fonte: ANA, 2017

3.5. Níveis e fases dos processos de tratamento de esgotos

3.5.1. Tratamento preliminar

Independentemente da tecnologia de tratamento, uma etapa crucial em qualquer estação de tratamento de esgotos é o tratamento preliminar. Esta etapa inicial do tratamento tem como finalidade a remoção de sólidos grosseiros e areia, provenientes do uso inadequado das instalações prediais, sistemas de coletas públicos e contaminações por efluentes pluviais ou industriais. Esta etapa é importante para proteção de dispositivos como bombas, tubulações, aeradores, raspadores entre outros, além de auxiliar na remoção parcial da carga poluidoras, melhorando as unidades de tratamento posteriores. Tipicamente são usados dispositivos com grades ou barras de diferentes aberturas e peneiras perfuradas, conforme exemplo na figura 12 (JORDÃO & PESSOA, 2011).

Figura 12. Exemplo de um gradeamento na entrada de estação de tratamento de esgoto

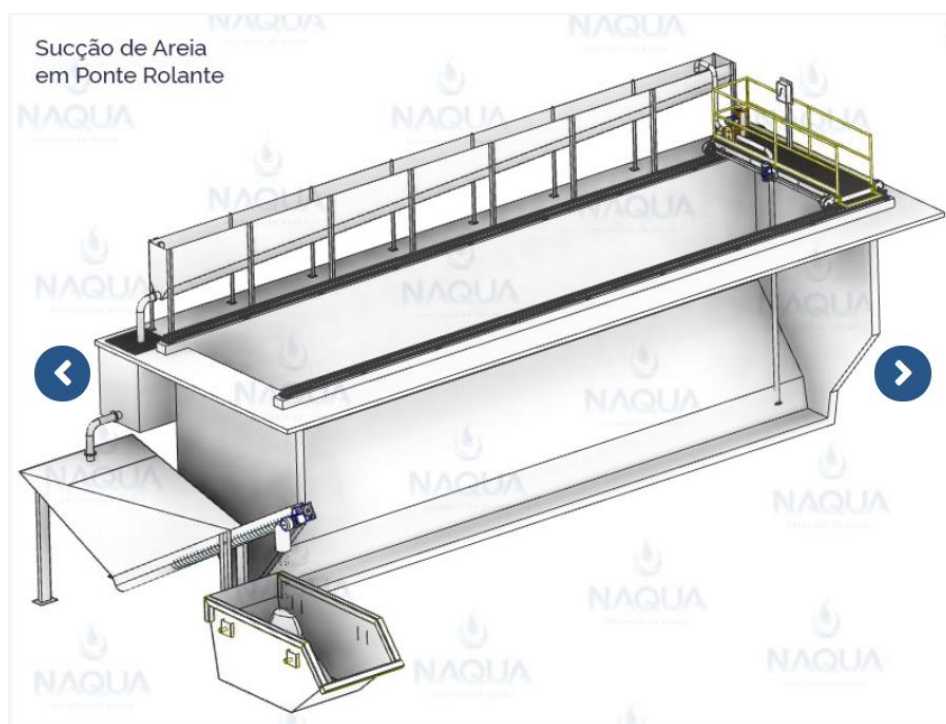


Fonte: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA/UFC

Outro tipo comum de tratamento é a caixa de areia ou desarenador, conforme exemplo na figura 13, que permite a remoção de areia, que pode causar abrasão nos equipamentos e tubulações, avarias e obstruções nas diferentes unidades de uma ETE e prejudicar o manuseio e transporte das fases líquidas e sólidas no processo. Esta etapa pode ser manual ou mecanizada e deve ser projetada para (JORDÃO & PESSOA, 2011):

- retenção de areia indesejável ao processo (seja em quantidade ou qualidade),
- permitir o armazenamento da areia entre limpezas;
- remoção e transporte da areia retida, para que a mesma seja enviada para a destinação final.

Figura 13. Exemplo de desarenador com sucção de areia em ponte rolante



. Fonte: NAQUA

3.5.2. Tratamento primário

Após a etapa preliminar, a próxima etapa de processo é o tratamento primário. Nesta etapa ocorre principalmente a remoção de sólidos flutuantes como óleos e graxas e sólidos em suspensão sedimentáveis. Como consequência parte da

matéria orgânica associada à sólidos em suspensão pode ser removida nesta etapa. Dentre os principais processos primários, podemos citar (JORDÃO & PESSOA, 2011):

- Sedimentação
- Flotação
- Sistemas anaeróbios
- Digestão e secagem do lodo

Dentre eles, o decantador primário para remoção de sólidos é um dos mais comuns, como mostrado na figura 14. Esse tipo de tecnologia pode ser mais simples, com a remoção de sólidos no fundo, após determinado tempo de repouso ou sistemas mais elaborados que possuem removedores de lodo de alta performance.

Figura 14. Exemplo de decantador primário



Fonte: Bishen Ambiental

3.5.3. Tratamento secundário

A etapa secundária de tratamento é a mais importante para remoção de matéria orgânica. A fração de orgânicos dissolvida não é removida através de processos físicos, e desta forma há necessidade de uso de sistema biológicos que irão degradar estes compostos. Diversos tipos de microorganismos estão envolvidos nesse tipo de processo, como bactérias, protozoários, fungos e algas (VON SPERLING, 1996). Dentre os processos mais comuns podemos citar (JORDÃO & PESSOA, 2011):

- Filtração biológica;
- Lodos ativados;
- Lagoas de estabilização (facultativas, aerada)

Neste trabalho foram explorados os sistemas de lagoas de estabilização e lodos ativados. Detalhes desses processos serão discutidos em maiores detalhes nas próximas seções.

3.5.4. Tratamento terciário

Estações de tratamento de esgoto que possuem tratamento terciário possuem um efluente tratado de elevada qualidade, sendo aplicado tipicamente em locais onde há parâmetros de descartes mais restritivos ou ausência de vazão suficiente no corpo d'água para diluição dos contaminantes. Este tipo de sistema também pode ser usado para fins de reuso em diferentes aplicações. Dentre os processos terciários mais comuns podemos citar (JORDÃO & PESSOA, 2011):

- Sistemas para remoção de patógenos;
- Sistemas para remoção de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio;
- Sistema de tratamento avançados, como filtração terciária, absorção por carvão (conforme exemplo na figura 15) e membranas

Figura 15. Exemplo de filtro de carvão ativado



Fonte: YETE

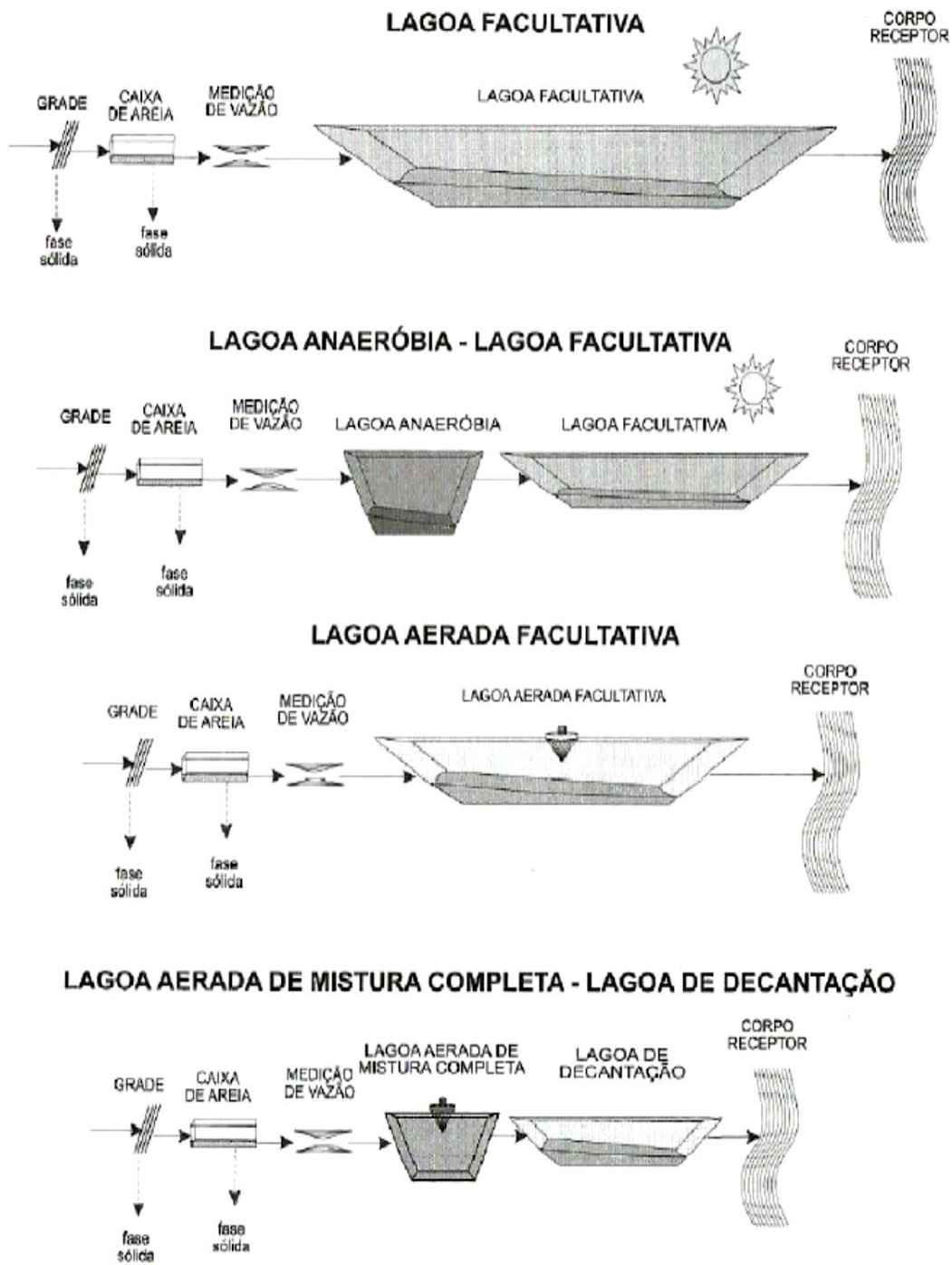
3.6. Processos de tratamento pesquisados neste trabalho

3.6.1. Lagoas de estabilização

Os sistemas de lagoas de estabilização são considerados um dos sistemas mais simples para tratamento de esgotos. Contudo esses sistemas são desenhados principalmente para remoção de carga orgânica, sendo a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) relativamente baixa. Existem diferentes tipos de lagoas e configurações, conforme figura 16, que determinam sua eficiência e nível de simplicidade operacional. Os principais sistemas de lagoas comumente usados são (VON SPERLING, 2016; VON SPERLING, 1997):

- **Lagoa facultativa:** a matéria orgânica solúvel (tipicamente medida como Demanda Bioquímica DBO solúvel) e finamente particulada passa por um processo de estabilização aeróbio na fase líquida, enquanto a DBO suspensa sedimenta e passa por um processo anaeróbio no fundo da lagoa. O fornecimento de oxigênio, requerido pelas bactérias aeróbias, se dá através da fotossíntese das algas. Neste sentido o projeto é desenhado para uma otimização da presenças de algas na fase líquida e um equilíbrio entre bactérias e algas.
- **Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa:** a remoção de DBO na lagoa anaeróbia (profunda e menor) é em torno de 50 a 70%, enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. Esta configuração ocupa uma menor área que um sistema unicamente facultativo.
- **Lagoa aerada facultativa:** processo similar à uma lagoa facultativa, com a diferença que o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos. A massa microbiana é constituída principalmente por bactérias e protozoários. Grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, passando por um processo anaeróbio no fundo da lagoa.
- **Lagoa aerada de mistura completa + lagoa de decantação:** a elevada energia introduzida, permite que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos na fase líquida, ou em mistura completa. A remoção de DBO é mais eficiente devido à maior concentração de bactérias na fase líquida., com isso é possível um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. O efluente necessita de uma etapa final de tratamento antes do lançamento no corpo receptor, principalmente pelo elevado teor de material suspenso. Desta forma, a lagoa de decantação é importante parte do processo.

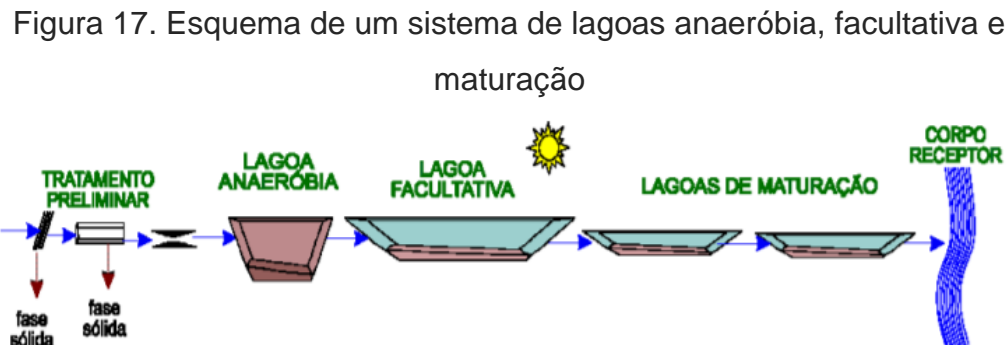
Figura 16. Diferentes tipos de sistemas de lagoas de estabilização



Fonte: VON SPERLING, 1997

- **Lagoa de maturação:** o principal objetivo é a remoção de patógenos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para bactérias patogênicas, como radiação UV, temperatura, falta de nutrientes e predação por outros organismos. Ovos de helmintos e cistos de protozoários tendem a ser removidos por sedimentação. Além disso, a eficiência na remoção de coliformes é elevada. Este tipo de lagoa é uma alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente convencionais, como a cloração.

Dependendo da característica do esgoto a ser tratado, condições e área para instalação e principalmente a qualidade desejada na saída do tratamento, a escolha do tipo de lagoa é essencial para um melhor custo-benefício e eficiência de remoção de carga orgânica. A tabela 1 indica as eficiências típicas de remoção de contaminantes dependendo do tipo de lagoa. Neste trabalho a configuração de lagoas estudada foi: anaeróbia, facultativa e maturação, conforme esquema na figura 17.



Fonte: VON SPERLING, 1997

Tabela 1. Eficiências de remoção típicas das diferentes configurações de lagoas

Parâmetro	Sistema de lagoas			
	Facultativa	Anaeróbia-facultativa	Aerada facultativa	Aerada de mistura completa-decantação
DBO (%)	75-85	75-85	75-85	75-85
DQO (%)	65-80	65-80	65-80	65-80
Sólidos suspensos (%)	70-80	70-80	70-80	80-87
Amônia (%)	<50	<50	<30	<30
Nitrogênio(%)	<60	<60	<30	<30
Fósforo (%)	<35	<35	<35	<35
Coliformes (%)	90-99	90-99	90-99	90-99

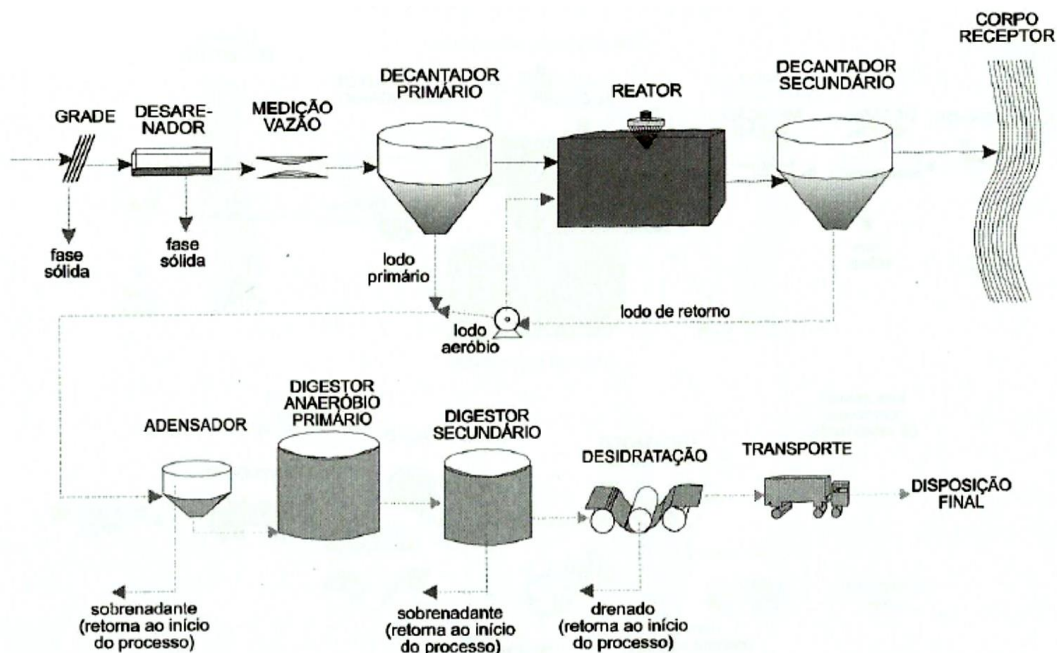
Fonte: VON SPERLING, 1997

3.6.2. Lodos ativados

Os sistemas de lodos ativados, que representam a maior população atendida no Brasil, são mais eficientes que sistemas de lagoas, porém com maior nível de mecanização e consumo energético. Este tipo de sistema também permite o crescimento e sustentação da biomassa de forma dispersa, onde o esgoto afluente e o lodo ativado recirculado são misturados, agitados e aerados no tanque de aeração, conforme representado na Figura 18. Posteriormente no decantador secundário, a maior parte do lodo retorna ao processo, enquanto o lodo em excesso é retirado do sistema e enviado ao tratamento de lodo. Este sistema necessita de elevada quantidade de oxigênio e grande quantidade de flocos em suspensão nos reatores, a fim de permitir uma melhor performance de remoção de matéria orgânica e em determinadas condições de também do nitrogênio (JORDÃO & PESSOA, 2011). Existem diversos tipos de variações de processo de lodo ativado, sendo tipicamente (VON SPERLING, 1997):

- De acordo com a idade do lodo:
 - Convencional
 - Aeração prolongada
- De acordo com o fluxo:
 - Contínuo
 - Intermitente (batelada)
- De acordo com o tipo de sistema prévio:
 - Esgoto bruto
 - Decantador primário
 - Reator anaeróbio
 - Outro tipo de tratamento de esgoto

Figura 18. Fluxograma típico de um sistema de lodos ativados convencional com tratamento de lodo



Fonte: VON SPERLING, 1997

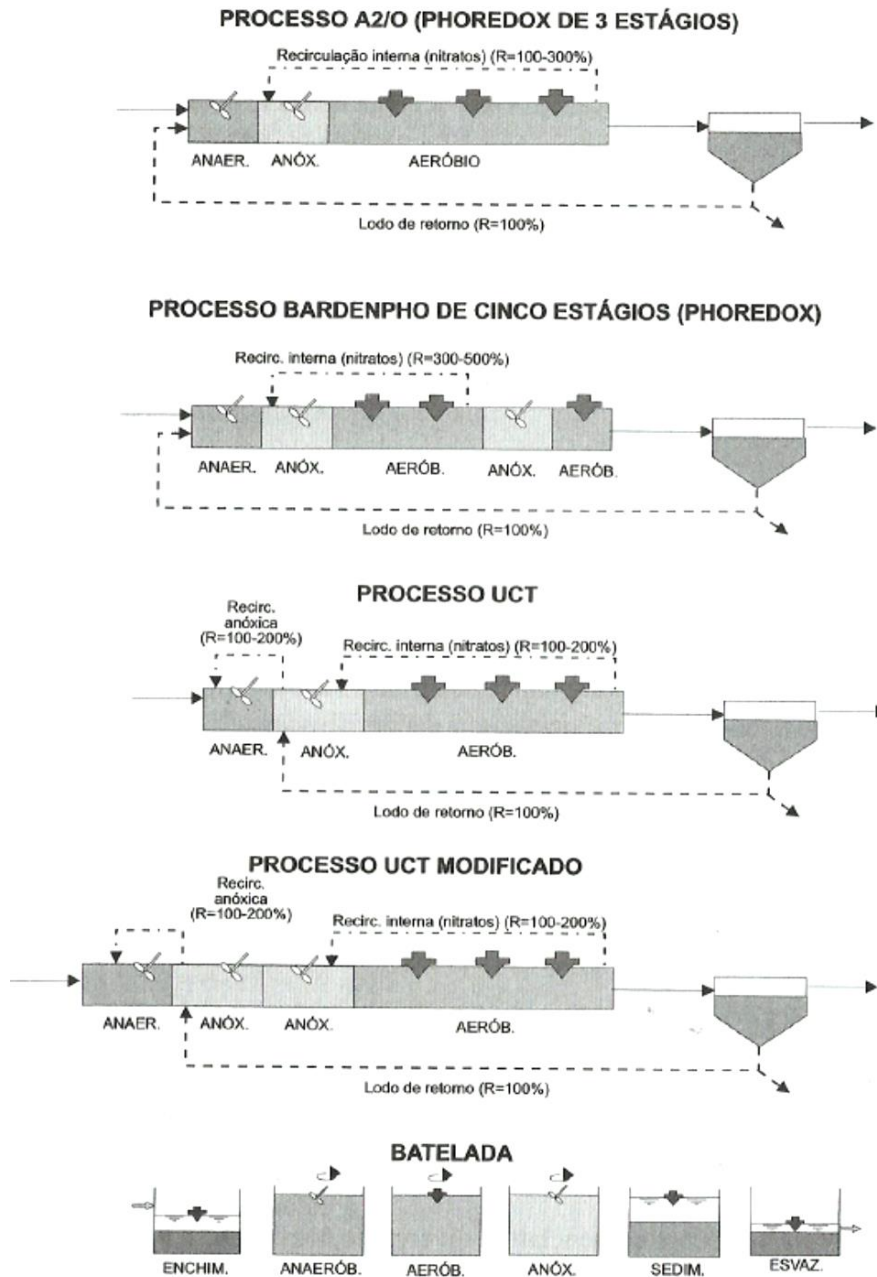
A presença de nutrientes como nitrogênio e fósforo em elevadas quantidades permitem o crescimento indesejável e descontrolado de microorganismos nos corpos d'água e pode causar eutrofização. A presença de elevada quantidade de algas e cianobactérias na superfície de um lago é exemplo típico da consequência de um processo de eutrofização. Além disso, a amônia livre é

tóxica para organismos aquáticos, o nitrato é prejudicial à saúde (principalmente crianças) e o nitrogênio amoniacal (na forma de íon amônio) consome oxigênio do meio aquático promovendo a nitrificação. Estes problemas levaram ao desenvolvimento de tecnologias de remoção biológica e sua incorporação nos sistemas de lodos ativados (JORDÃO & PESSOA, 2011).

As variantes típicas de sistemas de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes são representados na figura 19 (VON SPERLING, 1997):

- **Processo A²O ou Phoredox de 3 estágios:** sistema com a configuração “anaeróbio/anóxico/aeróbio”. Aqui a remoção do nitrogênio ocorre principalmente através da recirculação interna, da zona aeróbia para a zona anóxica. Já a remoção do fósforo é alcançada por meio da recirculação do lodo para a zona anaeróbia.
- **Processo Bardenpho de cinco estágios (PHOREDOX):** Esquema do processo Anaeróbio, Pré-Anóxico, Aeróbio, Pós-Anóxico, Aeróbio. O retorno de lodo é direcionado à zona anaeróbia. A idade do lodo é da ordem de 10 a 30 dias.
- **Processo UCT (University of Cape Town):** O processo é constituído das três zonas (anaeróbia, anóxica e aeróbia). A recirculação de lodo é dirigida à zona anóxica e existem duas recirculações internas: recirculação da zona anóxica para a zona anaeróbia e recirculação da zona aeróbia para a zona anóxica.
- **Processo UCT modificado:** neste sistema há separação da zona anóxica em duas partes. A primeira parte recebe o lodo recirculado do decantador secundário. A segunda parte anóxica recebe a recirculação interna da zona aeróbia, O objetivo é evitar que o excesso de nitrato não prejudique o processo.
- **Reatores por batelada:** consiste em um sistema de operação intermitente onde todas as etapas são realizadas em um único tanque. Nesta configuração, as operações típicas são: enchimento, reação (etapas anaeróbia, aeróbia e anóxica), sedimentação, esvaziamento e repouso.

Figura 19. Variações de sistemas de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes



Remoção de N: escape de N₂ para a atmosfera
 Remoção de P: saída em excesso com o lodo secundário

Fonte: VON SPERLING, 1997

No presente trabalho, a ETE de lodos ativados onde foram realizados os testes é do tipo lodos ativados com remoção biológica de nutrientes, que pode operar tanto no processo Phoredox, como também com o processo UCT. Além disso, a ETE possui um polimento final (flotação por ar dissolvido) a nível terciário.

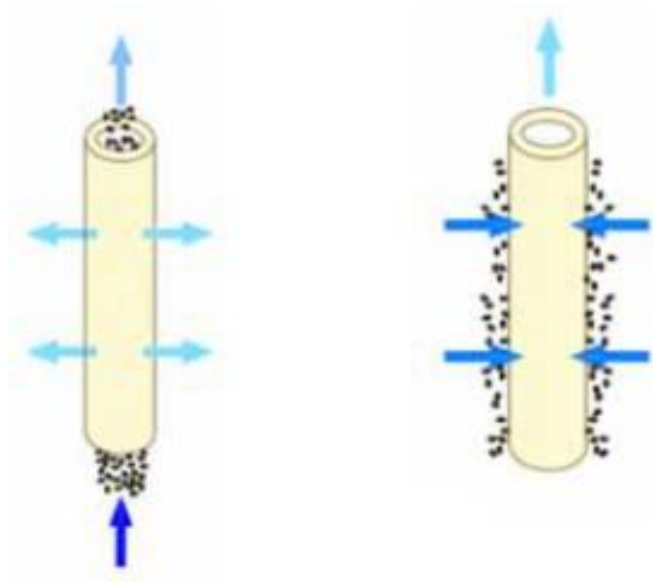
3.7. Polimento de efluentes tratados por membranas

Na etapa de polimento final dos efluentes da ETEs foram considerados e avaliados três tipos de membranas: ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. Em cada ETE, a ultrafiltração serviu como pré-tratamento e proteção para as membranas de NF (ETE de lodos ativados) e OR (ETE de lagoas). Alguns aspectos importantes devem ser levados em conta na implementação desse tipo de solução. O principal deles, sem dúvida, são os riscos sanitários envolvidos no retorno de esgotos tratados ao meio ambiente, que conseqüentemente podem afetar os corpos hídricos que podem servir como fonte de água para abastecimento humano, ou em último caso, causar impactos negativos no solo, subsolo e ambiente marinho. É importante lembrar que esse risco já existe e vem causando diversos problemas à população. É sabido que as fontes de água disponível para abastecimento nas grandes cidades brasileiras estão sujeitas às diferentes fontes de poluição e, faz-se necessário buscar tecnologias para lidar com o problema de contaminação de águas por esgotos contaminados.

3.7.1. Ultrafiltração

A ultrafiltração fornece separação macromolecular para partículas na faixa de 20 a 1.000 Angstrom (até 0,1 microm). Todos sais dissolvidos e moléculas menores passam através da membrana. A maioria das membranas de UF possuem corte de peso molecular (*molecular weight cut-off – MWCO*) entre 1.000 e 100.000. As membranas de fibra oca tipicamente operam em dois tipos de sentido: de fora para dentro ou de dentro para fora, conforme observado na figura 20. Desta forma, todos os sólidos suspensos e contaminantes com tamanho molecular acima do poro da membrana são separados da corrente de água filtrada.

Figura 20. Sentidos de filtração típicos de membranas de ultrafiltração



Fonte: DuPont

Existem diferentes tipos de materiais construtivos, sendo os mais comuns o PVDF (Fluoreto de polivinilideno), e a PES (Polietersulfona). Aplicável, tanto na configuração pressurizada (exemplos na figura 21) como na submersa (exemplos na figura 22), para remoção de sólidos em suspensão e contaminantes associados a estas partículas, além de diferentes patógenos como bactérias, vírus, algas e protozoários. É bastante utilizado em processos de clarificação e potabilização de águas, polimento de esgoto/efluente industrial tratado ou reuso. Além do importante papel de etapa de pré-tratamento e proteção de sistemas com nanofiltração ou osmose reversa, que são mais sensíveis a sólidos suspensos e diferentes contaminantes em suspensão.

Figura 21. Diferentes tipos de membranas pressurizadas



Fonte: DuPont

Figura 22. Diferentes tipos de membranas submersas

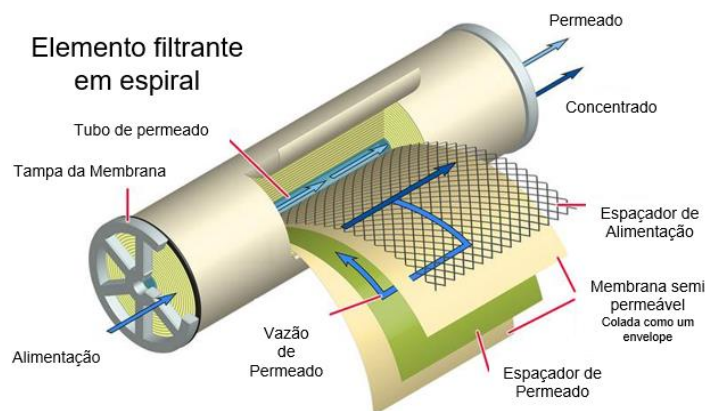


Fonte: DuPont

3.7.2. Nanofiltração

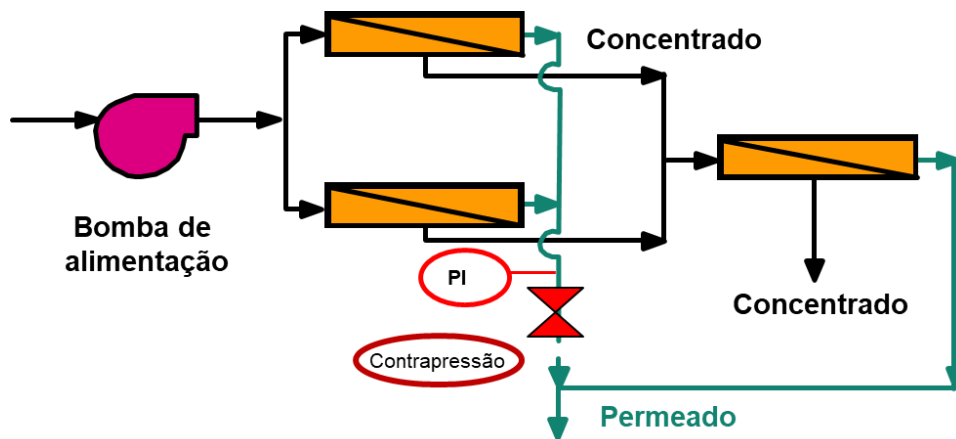
A nanofiltração refere-se a um processo de membrana especial que rejeita partículas na faixa aproximada de tamanho de 1 nanômetro (10 Angstroms). A NF opera no domínio entre ultrafiltração e osmose reversa. Na prática, as membranas de osmose reversa e nanofiltração são aplicadas como um processo de filtração de fluxo cruzado ou tangencial, com diferentes camadas e materiais, conforme representado na figura 23. Com uma bomba de alta pressão, a água ou efluente, já clarificado, é continuamente bombeado a determinada pressão para o sistema de membrana. Dentro do sistema de membranas, a água de alimentação será dividida em um produto de baixo teor de sais dissolvidos, chamado permeado, e um produto concentrado em sais dissolvidos, denominado concentrado. Uma válvula reguladora de fluxo, chamada válvula de concentrado, controla a porcentagem de água de alimentação que está indo para o fluxo de concentrado e o permeado que será obtido a partir da alimentação. Além disso, o sistema pode ser construído com múltiplos estágios para aumentar a recuperação e reduzir a geração de concentrado. Neste tipo de sistema, o concentrado do primeiro estágio alimenta o segundo estágio enquanto o permeado de cada estágio é misturado em uma linha comum, produzindo assim um permeado com teor de sais menor que alimentação, conforme representado na figura 24.

Figura 23. Detalhamento das partes de uma membrana de nanofiltração ou osmose reversa



Fonte: DuPont

Figura 24. Exemplo de um sistema de membranas com dois estágios



Fonte: DuPont

Moléculas orgânicas com pesos moleculares maiores que 200-400 são rejeitadas pelas membranas de nanofiltração. Ela também rejeita certos sais solúveis. Especificamente, o NF rejeita sais dissolvidos na faixa de 20 a 98%. Os sais que têm ânions monovalentes (por exemplo, cloreto de sódio ou cloreto de cálcio) têm rejeições de 20 a 80%, enquanto os sais com ânions divalentes (por exemplo, sulfato de magnésio) têm rejeições mais altas de 90 a 98%. As pressões típicas estão na faixa de 3,5 a 16 bar. A membrana de nanofiltração ideal tem uma permeabilidade à água muito alta, mas a permeabilidade ideal dos solutos pode ser próxima de zero ou algum valor mais alto, dependendo do soluto e da aplicação. Aplicações típicas incluem a remoção de cor e carbono orgânico total (COT) de águas superficiais, remoção da dureza de água subterrânea, redução parcial de sólidos dissolvidos totais (SDT) e remoção de contaminantes emergentes como agroquímicos, fármacos, entre outros (DUPONT, 2020). Um exemplo real de equipamento de nanofiltração está na figura 25.

Figura 25. Exemplo de um equipamento de nanofiltração



Fonte: HOH Water Technology

3.7.3. Osmose Reversa

A osmose reversa é o melhor nível de filtração disponível entre as membranas. A membrana de OR atua como uma barreira a todos os sais dissolvidos e moléculas inorgânicas, bem como moléculas orgânicas com um peso molecular superior a aproximadamente 100. Moléculas de água, por outro lado, passam livremente através da membrana criando um fluxo de produto purificado. A rejeição de sais dissolvidos é tipicamente de 95% a 99%. O modo de operação é similar a um sistema de nanofiltração, porém as pressões de trabalho são maiores e dependem da salinidade de água de alimentação. As pressões de trabalho tipicamente variam de:

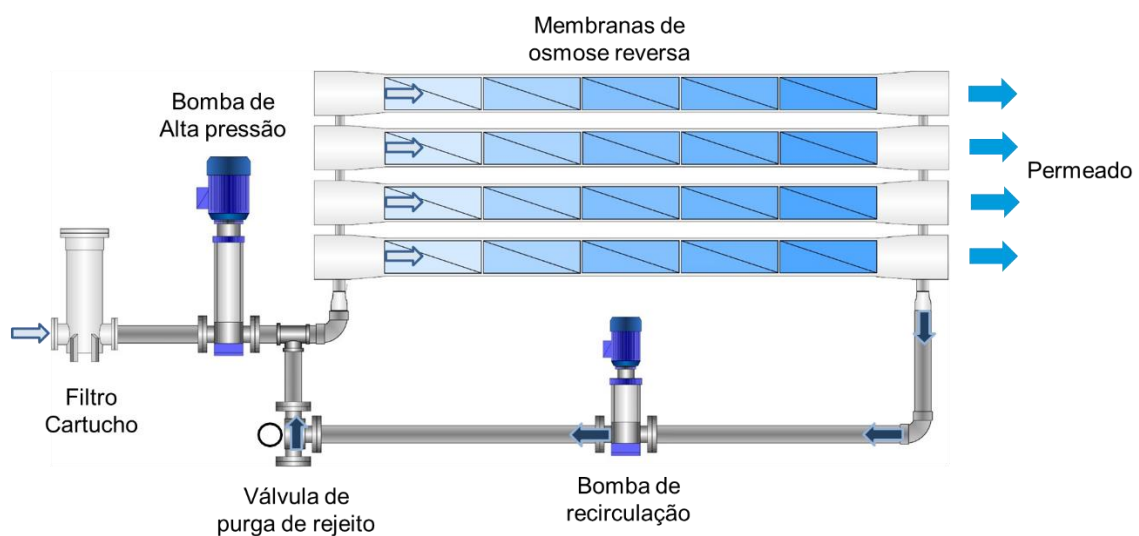
- 6 até 41 bar com membranas de água salobra, *Brackish water reverse osmosis – BWRO*;
- até 83 bar com membranas de água do mar, *Seawater reverse osmosis – SWRO*;
- até 120 bar com membranas de elevada pressão, *Ultra high pressure reverse osmosis – UHPRO*

A recuperação típica (em % - vazão de permeado produzido dividida pela vazão de água de alimentação) tipicamente varia de acordo com a salinidade e tipo de sistema:

- dessalinização de água do mar: 40 a 45%;
- água salobra (efluentes ou alto potencial de incrustação de sais): 60 – 70%
- água salobra com duplo estágio: 75 – 80%
- água permeada ou múltiplos estágios (baixa salinidade): 85 – 90%
- osmose de circuito fechado (*closed circuit reverse osmosis – CCRO*): 90 a 98%

Sistemas como CCRO são as tecnologias mais avançadas em termos de osmose reversa de alta recuperação disponíveis no mercado atualmente. Estes sistemas diferem dos sistemas de osmose convencionais por não produzirem rejeito continuamente na operação, trabalhando em ciclos de concentração e purgas intermitentes, por isso o nome circuito fechado, representado na figura 26. Isto permite, além de uma maior recuperação e menor geração de rejeito, um consumo tanto de químicos como energia menor, aumentando a viabilidade econômica deste tipo de tecnologia.

Figura 26. Fluxograma de um sistema Closed-Circuit Desalination™



Fonte: Desalitec DuPont

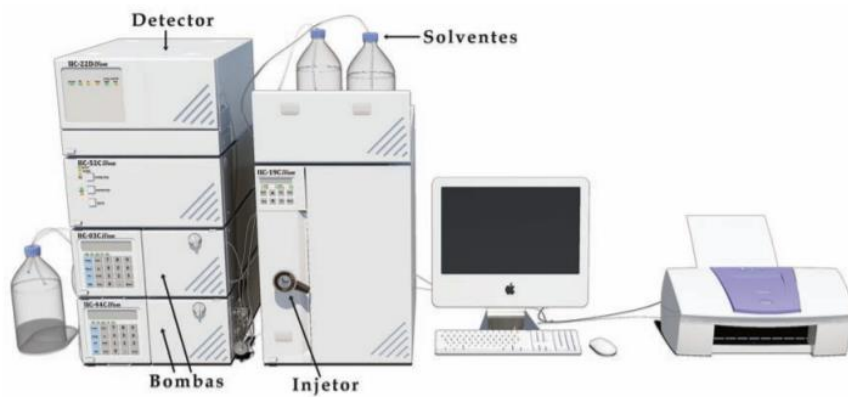
As aplicações para osmose são numerosas e variadas, e incluem dessalinização de água do mar ou água salobra, reuso de efluentes, processamento de alimentos e bebidas, separações biomédicas, purificação de água potável, água industrial e sistema de descarga líquida zero (*zero liquid discharge – ZLD*) ou descarga mínima de líquidos (*minimal liquid discharge – MLD*).

3.8. Análise de fármacos via LC-MS/MS

Este trabalho utilizou a técnica analítica de cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (*LC-MS/MS*) para detecção e quantificação dos fármacos nos diferentes pontos de amostragem nas ETEs e nos sistemas de membranas. Esta técnica é bastante usada como uma potente ferramenta para os mais variados estudos envolvendo quantificação de reduzidas concentrações, na ordem de partes por bilhão (ppb) até partes por trilhão (ppt), dentre eles os variados contaminantes emergentes, principalmente fármacos (GUEDES, 2017).

Na cromatografia líquida de alta eficiência, o solvente, ou fase móvel, é injetado, por uma bomba de alta pressão para coluna. No caminho, a amostra a ser analisada é misturada à fase móvel e arrastada para a coluna, na qual ocorre a separação dos componentes. O efluente da coluna é direcionado para um detector, que gera um sinal que é captado por um software apropriado. Assim um cromatograma é gerado, mostrando a variação do sinal do detector em função do tempo, conforme representado na figura 27 (LANÇAS, 2009).

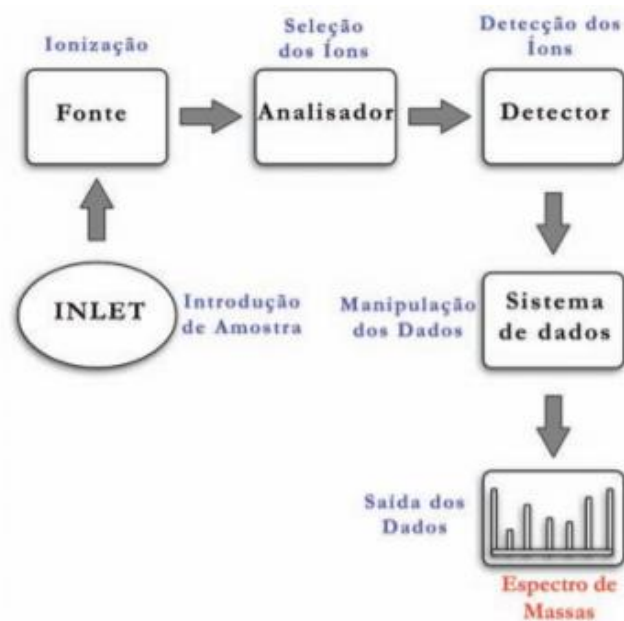
Figura 27. Esquema de um sistema de cromatografia líquida típico



Fonte: LANÇAS, 2009

Já no sistema de espectrometria de massas, a amostra a ser analisada é introduzida por dispositivo e direcionada para a fonte de ionização. Com a geração de difentes picos pela separação dos diversos componentes da amostra, que são individualmente introduzidos na fonte de ionização para gerar os íons a serem posteriormente separados no analisador e encaminhados para detecção e quantificação, conforme representado na figura 28. Os dados gerados permitem, em software adequado, a geração de espectros de massas (LANÇAS, 2009).

Figura 28. Esquema de um sistema de espectrometria de massas



Fonte: LANÇAS, 2009

O acoplamento entre estas duas técnicas permitiu o desenvolvimento de uma ferramenta analítica versátil e de grande potencial na análise qualitativa e quantitativa. A crescente preocupação global com contaminantes emergentes e sua presença em águas e esgotos, requer um melhor domínio e difusão deste tipo de técnica, que é de extrema importância no monitoramento e controle da contaminação nos mais diversos compartimentos ambientais.

4. Materiais e métodos

4.1. Locais de estudo

4.1.1. ETE RJ (São Paulo):

Estação de tratamento de esgoto baseada na tecnologia de lagoas de estabilização com as seguintes etapas, conforme figura 29:

- tratamento preliminar (gradeamento e desarenamento)
- lagoa anaeróbia
- lagoa facultativa
- lagoa de maturação

Vazão média em outubro/2019: 30 L/s

Corpo receptor: enquadramento Classe 4

Figura 29: Foto das lagoas de estabilização da ETE RJ



Fonte: SABESP

4.1.2. ETE BN (Distrito Federal):

Estação de tratamento de esgoto baseada na tecnologia de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes e polimento final com as seguintes etapas, conforme figura 30:

- Tratamento preliminar (gradeamento + desarenador)
- Decantador primário
- Reator biológico (lodos ativados)
- Decantador secundário
- Polimento final por flotação

Vazão média em Novembro/2019: 520 L/s

Corpo receptor: enquadramento Classe 2

Figura 30: Foto aérea da ETE BN



Fonte: CAESB

4.2. Sistemas piloto de polimento por membranas

Para avaliação técnica da tecnologia de membranas (UF, NF e OR) foram utilizados protótipos de membranas instaladas em unidades piloto, conforme descrito abaixo:

4.2.1. Sistema piloto ETE RJ

4.2.1.1. Ultrafiltração

Sistema composto por: membrana de ultrafiltração (protótipo para baixas vazões – material PVDF, poro nominal de 30 nm), bomba de alimentação peristáltica, válvula de ajuste manual, mangueiras e manômetro para verificação da pressão de trabalho, conforme figura 31.

Figura 31. Sistema de ultrafiltração instalado na saída da ETE RJ

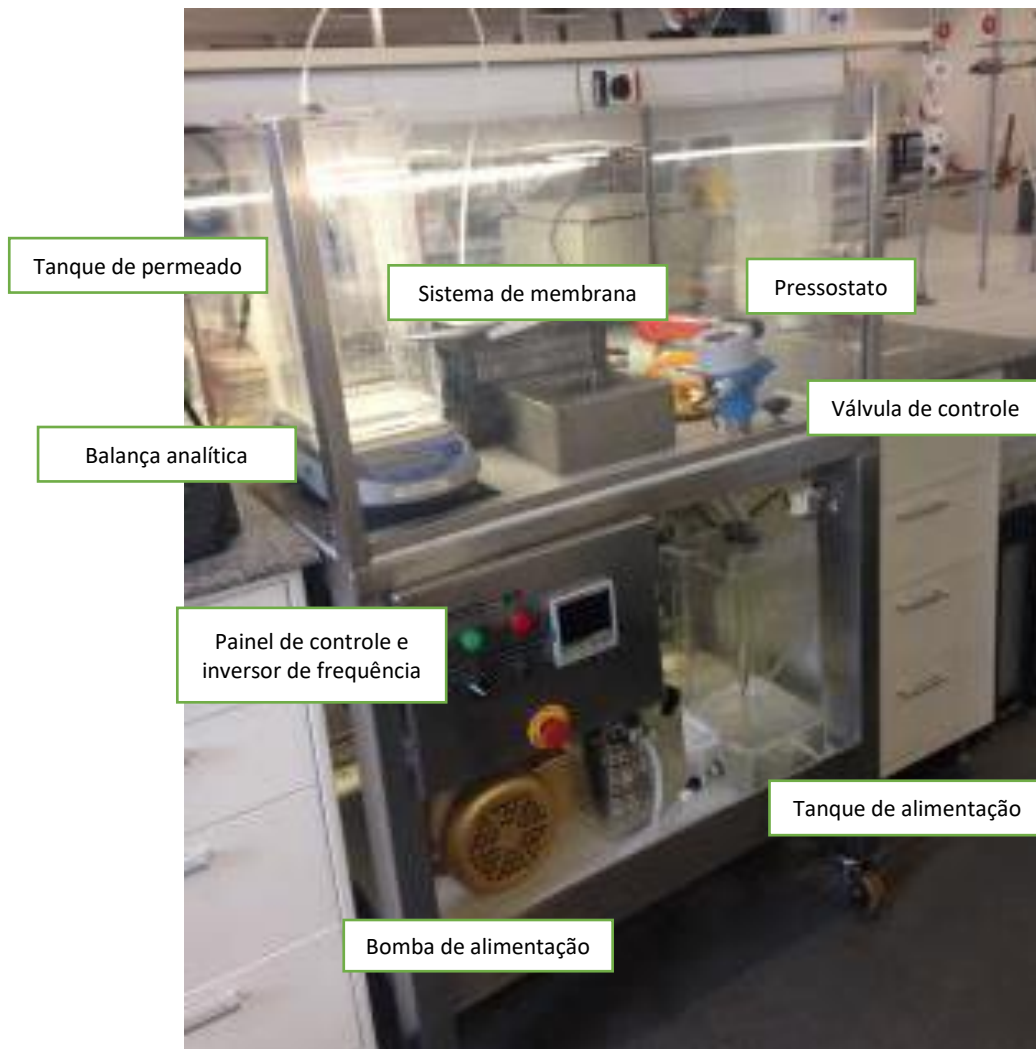


Fonte: Autor

4.2.1.2. Osmose reversa

Sistema composto por tanque de alimentação, Bomba de alimentação centrífuga para permitir pressões de trabalho adequadas, válvula de controle de rejeito, sistema de célula de fluxo tipo Sterlitech®, folha de membrana de osmose reversa (material poliamida, modelo DuPont Filmtec® ECO), pressostato, transmissor de temperatura, balança analítica para controle da massa de permeado produzida, tanque de rejeito e tanque de permeado para coleta do esgoto tratado fina, conforme figura 32.

Figura 32. Célula de fluxo usada no teste com osmose reversa



Fonte: Autor

4.2.2. Sistema piloto ETE BN

4.2.2.1. Ultrafiltração

Sistema piloto instalado em container, composto por Bomba de alimentação centrífuga, pré-filtros tipo disco de 200 micras, membrana de ultrafiltração pressurizada de PVDF com área ativa de 77 m² (modelo DuPont SFP-2880XP), tubulações e válvulas, sistema de limpeza com água filtrada (bomba de retrolavagem e tanque de estocagem), medidores de vazão e pressão, sistema de limpeza química (bombas dosadoras e tanques de químicos), painel de controle e Interface Homem-Máquina com Registro de dados operacionais, conforme figura 33.

Figura 33: Piloto de ultrafiltração, instalada em container



Fonte: DuPont

4.2.2.2. Nanofiltração

Sistema piloto composto por: membrana de nanofiltração de 2,5" de diâmetro (modelo DuPont Filmtec® NF270-2540), reservatório de alimentação com misturador mecânico, reservatório auxiliar para limpezas químicas, bomba de alimentação de alta pressão com palhetas rotativas, manômetros, rotâmetros, tubulações, conexões, registros para coleta de amostras e Termômetro, conforme figura 34.

Figura 34: Sistema piloto de nanofiltração



Fonte: Autor

4.3. Amostragem

Foram coletadas amostras do esgoto sanitário em diferentes pontos das ETEs. As amostras foram coletadas em frascos plásticos e de vidro tipo âmbar, mantidos em refrigeração para posterior análise, conforme figura 35. Também foram separadas amostras que foram acidificadas com ácido nítrico e ácido sulfúrico (pH 2) para análise de parâmetros físico-químicos. As amostras para análise de fármacos foram armazenadas em frasco âmbar e congeladas para envio ao laboratório.

Figura 35. Frascos usados nas coletas da ETE RJ



Fonte: Autor

4.3.1. Pontos de amostragem

4.3.1.1. ETE RJ

- Ponto RJ1: Esgoto bruto após tratamento preliminar
- Ponto RJ2: Efluente da lagoa anaeróbia
- Ponto RJ3: Efluente após lagoa facultativa
- Ponto RJ4: Efluente da lagoa de maturação (mesmo ponto de alimentação do sistema de membranas de UF)
- Ponto RJ5: Filtrado da membrana de ultrafiltração
- Ponto RJ6: permeado da membrana de osmose reversa

4.3.1.2. ETE BN

- Ponto BN1: Esgoto após decantador primário
- Ponto BN2: Efluente do lodos ativados – anterior ao sistema de polimento final (mesmo ponto de alimentação do sistema de membranas)
- Ponto BN3: Filtrado da membrana de ultrafiltração
- Ponto BN4: Permeado da membrana de nanofiltração

As coletas foram realizadas de acordo com estimativas do tempo de detenção hidráulica de cada sistema:

a) ETE RJ:

- TDH da lagoa anaeróbia: 4,7 dias
- TDH da lagoa facultativa: 6,2 dias
- TDH da lagoa de maturação: 8,7 dias

b) ETE BN: TDH do sistema de lodos ativados 9,5 horas

4.3.2. Frequência analítica:

Duas rodadas de coletas para cada ETE:

- a) ETE RJ – novembro/dezembro de 2019 e dezembro/janeiro de 2020 (UF + OR)
- b) ETE BN – dezembro/2019 e janeiro/2020 (UF + NF)

4.4. Análises laboratoriais

As análises foram realizadas em campo (pH, temperatura e condutividade) e nos laboratórios da DuPont em Paulínia para ETE RJ e laboratórios da empresa de saneamento local para ETE BN para os outros parâmetros químicos, exceto os fármacos. Para estes contaminantes, as amostras congeladas foram acondicionadas em caixa térmica com gelo seco e enviadas para o laboratório de Química Analítica da DuPont, em Wilmington – Estados Unidos.

4.4.1. Parâmetros de qualidade

Os parâmetros físico-químicos monitorados neste trabalho são apresentados na tabela 2:

Tabela 2. Parâmetros, instrumentos e métodos analíticos aplicados

Parâmetro	Instrumento	Método Analítico
Temperatura	Termômetro digital	Visual
pH	pHmetro portátil	Potenciométrico
Cor	Espectrofotômetro	Platina-Cobalto 455 nm (método HACH 8025)
Carbono Orgânico total (COT)	Espectrofotômetro	Colorimétrico (método HACH 10129)
Condutividade	Condutímetro portátil	Condutância
Amônia	Espectrofotômetro	Nessler (método HACH 8038)

Nitrato	Espectrofotômetro	Redutor por Cádmio ((método HACH 8039)
Nitrogênio total	Espectrofotômetro	Digestão com persulfato (método HACH 10071)
Fosfato inorgânico	Espectrofotômetro	Hidrólise ácida (método HACH 8190)
Sulfato	Espectrofotômetro	Precipitação com bário (método HACH 8051)
Dureza de cálcio e magnésio	Espectrofotômetro	Calmagita/EDTA (método HACH 8030)
Alumínio total	Espectrofotômetro	Aluminon (método HACH 8012)
Ferro total	Espectrofotômetro	Fenantrolina (método HACH 8008)
Fármacos	Espectrômetro de massas Triploquadropolo	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS)

4.4.2. Reagentes e materiais

- Solução tampão pH 7
- Metanol grau HPLC;
- Acetonitrila grau HPLC;
- Ácido fórmico Fisher Chemical, A117, Optima® Grau LC/MS , Lote #195725
- Formiato de amônio grau HPLC
- Água ultrapura em sistema Direct-Q UV3® Millipore
- Água NanoPura: Barnstead GenPure Pro water purification system, Thermo Scientific
- Béqueres de vidro de 50, 100 e 500 mL
- Provetas de vidro de 25 e 100 mL
- Provetas de plástico de 100 mL
- Micropipetas manuais e automáticas de 100-10000 µL, 500-5000 µL e 50-500 µL

- Ponteiras descartáveis para micropipetas
- Seringas descartáveis 1 e 5 mL
- Funil de vidro
- Papel de filtro qualitativo
- Filtros seringa PVDF de porosidade 0,45 e 0,2 µm
- Vials de vidro com tampa 1, 2 e 5 mL
- Soda cáustica p.a.
- Ácido nítrico p.a.
- Ácido sulfúrico p.a.
- Padrão analítico paracetamol Sigma-Aldrich, 7085, Lote #SLCB2770, pureza ≥99.0%
- Padrão interno paracetamol-D4 - 100µg/mL em metanol, Cerilliant®, P-909, Lote #FN05241801
- Padrão analítico ibuprofeno Sigma-Aldrich, I4883, Lote #SLCD1404, pureza ≥98.0%
- Padrão interno ibuprofeno-D3 - 100µg/mL em metanol, Cerilliant®, I-032, Lote #FN02241601
- Padrão analítico sinvastatina Sigma-Aldrich, 38956, Lote #BCCB3929, pureza ≥98.0%
- Padrão analítico carbamazepina, Sigma-Aldrich 94496, Lote #BCBX3991, pureza ≥99.0%
- Padrão interno carbamazepina-D10 – 100 µg/mL em metanol, Cerilliant®, C-094, Lote #FN06131708
- Padrão analítico atenolol Sigma-Aldrich, A7655, Lote #BCCB0049, pureza ≥98.0%
- Padrão interno atenolol-D7 Sigma-Aldrich, 06613, Lote #BCBW5036, pureza ≥97.0%
- Padrão interno clonazepam-D4 100µg/mL em metanol, Cerilliant®, C-905, Lote #FE02051902
- Padrão analítico cafeína Sigma-Aldrich, C1778, Lote #SLBX6888, pureza 99.1%
- Padrão interno cafeína-D9 Aldrich Company, 725625, Lote #MBBC5867, pureza 98.0%

- Kits de reagentes para espectrofotometria HACH (ferro, alumínio, dureza, nitrato, sulfato, carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total e fósforo total)

4.4.3. Equipamentos e acessórios

- pHmetro portátil
- Condutivímetro portátil
- Termômetro digital tipo agulha
- Espectrofotômetro de espectro visível (modelo DR 2800 HACH)
- Cromatógrafo líquido de alta eficiência Agilent 1290 HPLC com módulos: 1290 G4226A *Autosampler*, 1290 G4220A *binary pump*, 1290 G1315C *Column Oven*
- Coluna: Agilent, EC-C18, 2.1x150 mm, 2.7 µm, Poroshell 120
- Espectrômetro de massas Triploquadropolo Q-trap 6500 AB Sciex LLC

4.5. Desenvolvimento método para quantificação dos fármacos

4.5.1. Preparação dos padrões

Para o preparo dos padrões analíticos e padrões internos foram usadas as seguintes soluções:

- Soluções estoque:
 - Ibuprofeno: 10 mg/mL em acetonitrila
 - Sinvastatina: 1 mg/mL em acetonitrila
 - Cafeína: 5 mg/mL em 50/50% água/acetonitrila
 - Paracetamol: 10 mg/mL em acetonitrila
 - Carbamazepina: 5 mg/mL em acetonitrila
 - Atenolol: 5 mg/mL em 50/50% água/acetonitrila

- Soluções estoque de padrões internos:
 - Clonazepam-D4: 100 µg/mL em metanol
 - Atenolol-D7: 1 mg/mL em 50/50% água/acetonitrila
 - Cafeína-D9: 2 mg/mL em 50/50% água/acetonitrila
 - Ibuprofeno-D3: 100 µg/mL em metanol (adquirido)
 - Paracetamol-D4: 100 µg/mL em metanol (adquirido)
 - Carbamazepina-D10: 100 µg/mL em metanol (adquirido)

Soluções estoque intermediárias (1 ppm e 100 ppb), contendo todos os analitos e padrões internos, foram preparadas por diluição em série de soluções estoque primárias em 50/50% de água/acetonitrila.

Foram preparadas, a partir das soluções diluídas, as seguintes concentrações de padrões de calibração: 0 (branco), 0,1, 0,5, 1,0, 5,0 e 10,0 ppb de cada analito e continham 2 ppb de cada padrão interno. Os padrões de calibração finais acabam contendo cerca de 7% de acetonitrila e 93% de água (padrão de calibração de 10 ppb).

4.5.2. Condições da cromatografia líquida

As condições cromatográficas usadas no estudo foram definidas para todos os fármacos (exceto sinvastina), conforme tabela 3:

- Solvente de lavagem: 50/50% (v/v) água NanoPura/acetonitrila
- Fase móvel:
 - A: Ácido fórmico 0,1 % (v/v) em água NanoPura;
 - B: Acetonitrila

Tabela 3: Gradiente das fases móveis da cromatografia líquida

Tempo (min)	Fase móvel A%	Fase móvel B%	Vazão (mL/min)
0,0	95	5	0,2
1,0	95	5	0,2
8,0	0	100	0,2
12,0	0	100	0,2
12,1	95	5	0,2
15,0	95	5	0,2

- Temperatura da coluna: 40°C
- Volume de injeção: 20 µL

Para sinvastatina houve necessidade de ajuste da metodologia para melhores resultados e confiabilidade, conforme tabela 4:

- Solvente de lavagem: 50/50% (v/v) água NanoPura/acetonitrila
- Fase móvel:
 - A: 10 mM acetato de amônio em água NanoPura;
 - B: Acetonitrila

Tabela 4: Gradiente das fases móveis da cromatografia líquida (somente sinvastatina)

Tempo (min)	Fase móvel A%	Fase móvel B%	Vazão (mL/min)
0,0	95	5	0,2
0,5	95	5	0,2
1,0	3	97	0,2
5	3	97	0,2
5,01	95	5	0,2
9,0	95	5	0,2

- Temperatura da coluna: 40°C
- Volume de injeção: 20 µL

4.5.3. Condição da espectrometria de massas

A detecção foi realizada em espectrômetro de massas triplo quadrupolo, com interface eletrospray trabalhando no modo de ionização positivo/negativo.

Os parâmetros da fonte de íons Turbo Spray foram:

- temperatura da fonte = 350 °C;
- voltagem do potencial de entrada = 10 V;
- voltagem do *ionspray* = 4500 V (íons positivos) e -4000 V (íons negativos)
- *Dwell time* = 10 ms / 5 ms (específico para sinvastatina)

As condições de monitoramento encontram-se descritas na tabela 5:

Tabela 5: Condições de monitoramento da espectrometria de massas

Fármaco	Transição (m/z)	Modo de ionização	Declustering Potential - DP (V)	Collision Energy - CE (V)	Collision Cell Exit Potential - CXP (V)
Cafeína	195>138	Positivo	80	25	17
Cafeína-D9	204>144	Positivo	80	25	17
Paracetamol	152>110	Positivo	70	25	17
Paracetamol-D4	156>114	Positivo	70	25	17
Atenolol	267>145	Positivo	75	35	17
Atenolol-D7	274>145	Positivo	75	35	17
Carbamazepina	237>194	Positivo	70	28	17
Carbamazepina-10	247>204	Positivo	70	28	17
Clonazepam*	316>270	Positivo	120	35	45
Clonazepam-D4	320>274	Positivo	120	35	45
Ibuprofeno	205>161	Negativo	60	8	13
Ibuprofeno-D3	208>164	Negativo	60	8	13
Sinvastatina, (M+H)+ íon	419>285	Positivo	85	20	45
Sinvastatina, (M+NH ₄)+ íon	436>285	Positivo	85	20	45
Sinvastatin, (M+Na)+ íon**	441>325	Positivo	85	35	45

*Padrão de clonazepam não disponível. Os parâmetros do composto foram otimizados usando o padrão interno Clonazepam-D4. A transição SRM 316>270 usada para clonazepam foi derivada da fragmentação observada de Clonazepam-D4

**esta transição apresentou o melhor sinal e assim foi usada para quantificação da sinvastatina

5. Resultados e discussões

5.1. Curvas de calibração com padrões em diferentes concentrações

As curvas de calibração obtidas nos experimentos (eixo das abscissas = concentração do analito/concentração do padrão interno; eixo das ordenadas = área do analito/área do padrão interno) são apresentadas no Apêndice A.

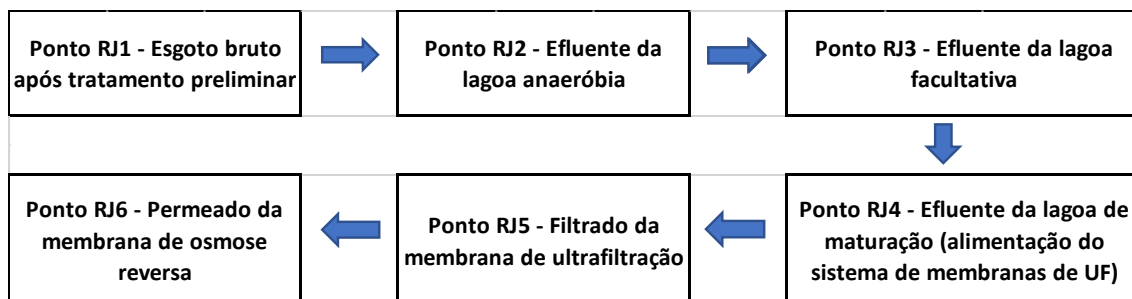
5.2. Cromatogramas dos padrões analíticos e internos

Os cromatogramas obtidos com os padrões analíticos e internos são apresentados no Apêndice B. As amostras foram filtradas usando um filtro de seringa de 0,2 µm. Padrões internos em uma concentração de 2 ppb cada foram adicionados às amostras filtradas antes da análise.

5.3. Resultados análises físico-químicas

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas foram separados em 3 conjuntos de dados para cada ETE, permitindo uma melhor discussão dos resultados encontrados a seguir. Os pontos de amostragem para cada ETE estão representados nas figuras 36 e 39:

Figura 36. Pontos de amostragem da ETE RJ



Fonte: Autor

5.3.1. Temperatura, pH, condutividade e cor

Tabela 6. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE RJ

Ponto	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (uS/cm)	Remoção (%)	Cor	Remoção (%)
RJ1	27.3	7.94	888.5	-	2250	-
RJ2	26.5	7.50	891.6	-0.3%	1215	46.0%
RJ3	23.8	7.65	719.3	19.3%	2340	-92.6%
RJ4	27.5	9.00	592.1	17.7%	2720	-16.2%
RJ5	27.6	9.10	576.9	2.6%	595	78.1%
RJ6	25.0	8.50	7.8	98.6%	0	100.0%

Figura 37. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE RJ

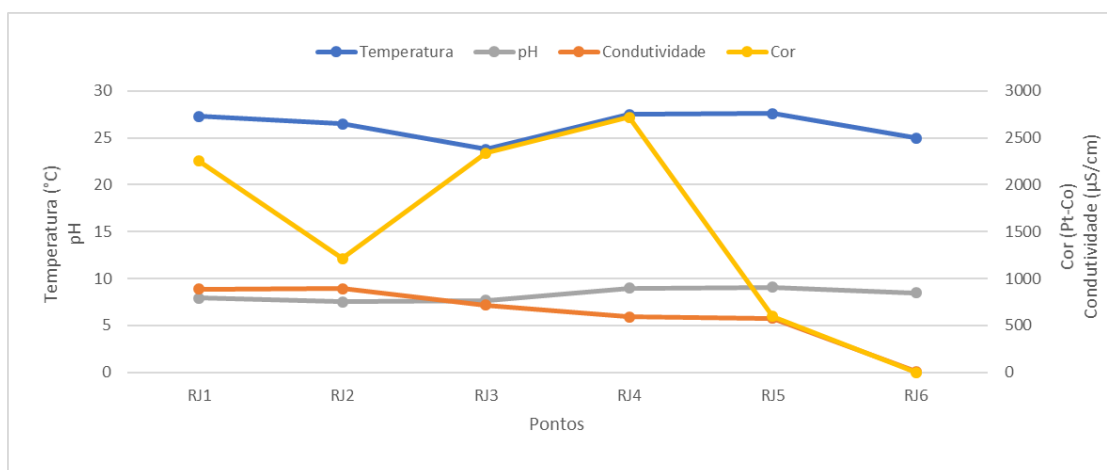
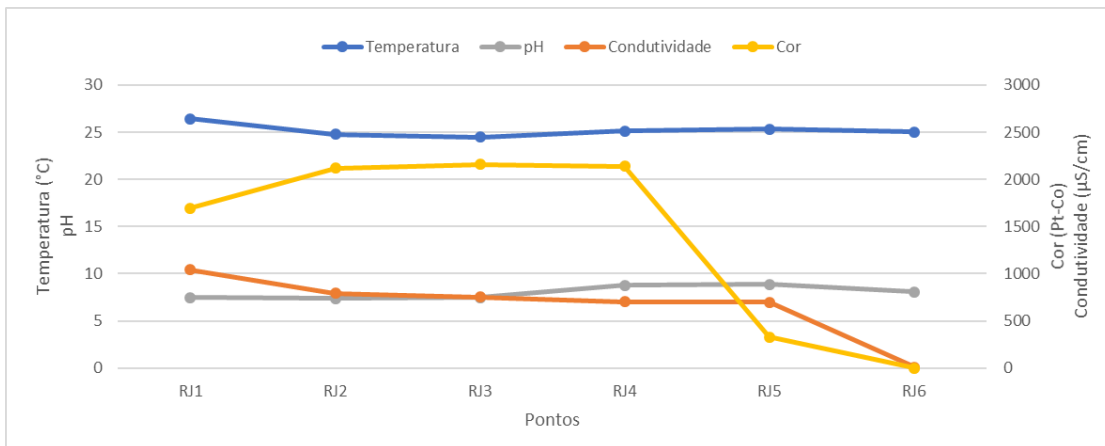


Tabela 7. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE RJ

Ponto	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (uS/cm)	Remoção (%)	Cor	Remoção (%)
RJ1	26.4	7.48	1042	-	1695	-
RJ2	24.8	7.40	791	24.1%	2120	-25.1%
RJ3	24.5	7.50	753	4.8%	2160	-1.9%
RJ4	25.1	8.80	701	6.9%	2140	0.9%
RJ5	25.3	8.90	697	0.6%	330	84.6%
RJ6	25.0	8.10	8.8	98.7%	0	100.0%

Figura 38. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE RJ

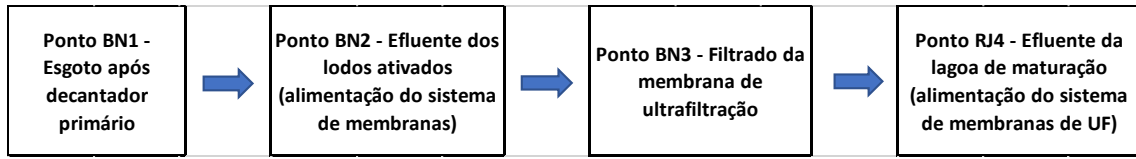


Para o pH observou-se uma tendência de aumento do pH ao longo do tratamento, situação típica de lagoas, onde a presença de algas que realizam fotossíntese, causa a elevação do pH através do consumo de gás carbônico e transformação de íons bicarbonato em íons hidroxila (VON SPERLING, 1996). No sistema de membranas o pH é pouco afetado pela ultrafiltração (que não remove sais dissolvidos) e ligeiramente reduzido na osmose reversa devido à remoção de alcalinidade.

Com respeito à condutividade, houve remoção pouco significativa nas lagoas, que não possuem este objetivo. Na membrana de UF também não houve remoção significativa, Já no sistema de osmose, que permite a remoção elevada de sais dissolvidos, a condutividade final do permeado foi bem baixa, com taxas de remoção aproximadas de 99%.

Nos resultados de cor, observou-se aumento da cor ao longo dos sistemas de lagoas, possivelmente relacionado ao aumento da quantidade de algas na superfície. Na sequência observou-se uma boa remoção de cor na UF, principalmente pela remoção de sólidos em suspensão e algas. Importante mencionar que os sistemas de UF podem remover cor dissolvida caso haja uma coagulação prévia, que neste caso não foi aplicada pela presença da osmose na sequência. A cor foi removida totalmente na etapa de osmose que permitiu a remoção da cor dissolvida (matéria orgânica não removida na UF)

Figura 39. Pontos de amostragem da ETE BN



Fonte: Autor

Tabela 8. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE BN

Ponto	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (uS/cm)	Remoção (%)	Cor (Pt-Co)	Remoção (%)
BN1	25.5	7.65	483	-	820	-
BN2	27.5	7.39	401	17.0%	60	92.7%
BN3	27.6	7.36	405	-1.0%	25	58.3%
BN4	27.0	8.94	100.2	75.3%	5	80.0%

Figura 40. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da primeira rodada de análises da ETE BN

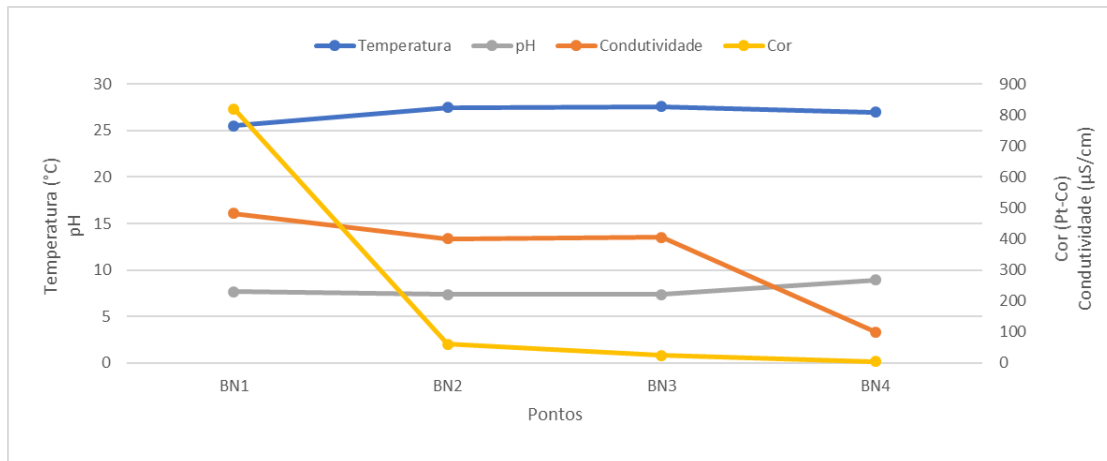
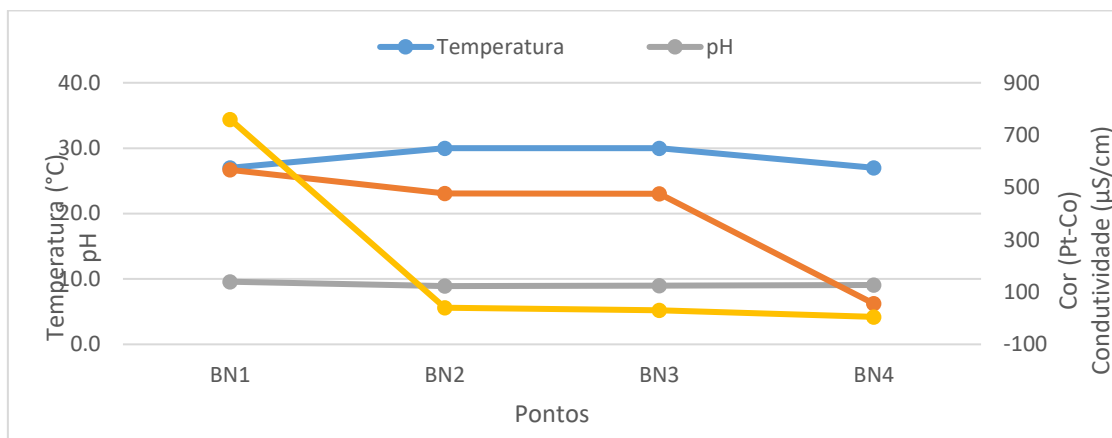


Tabela 9. Dados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE BN

Ponto	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (uS/cm)	Remoção (%)	Cor (Pt-Co)	Remoção (%)
BN1	27.0	9.58	567	-	760	-
BN2	30.0	8.91	477	15.9%	40	94.7%
BN3	30.0	8.97	476	0.2%	30	25.0%
BN4	27.0	9.10	55.5	88.3%	5	83.3%

Figura 41. Resultados de temperatura, pH, condutividade e cor da segunda rodada de análises da ETE BN



No sistema de lodos ativados, observou-se redução dos valores de pH possivelmente relacionado aos processos de nitrificação, onde ocorre consumo de alcalinidade e produção de acidez (SOUSA, 2015). Na segunda coleta, o valor de pH na entrada estava alto, valor incomum para este tipo de efluente. Também foi possível observar um pH do permeado da NF maior que a alimentação, fenômeno já observado na literatura devido à mudança de carga na superfície da membrana e conseqüentemente na rejeição de íons (QIN et al, 2004).

Tipicamente sistema biológicos não possuem elevada eficiência de remoção de sais dissolvidos. Houve ligeira remoção no biológico, na sequência a UF praticamente não alterou a condutividade, enquanto a NF permitiu remoção parcial. Resultado já esperado pois a NF-270 é uma membrana de baixa energia e rejeição comparada com outras membranas de NF.

Com respeito à cor, o valor do efluente no ponto inicial foi mais baixo (comparando com os resultados da ETE RJ), já que este ponto é localizado na saída do decantador primário, que consegue remover parte dos sólidos em suspensão responsáveis pelo aumento da cor. O sistema de lodos ativados proporcionou uma remoção elevada de cor, enquanto a UF removeu parcialmente, auxiliada pela dosagem de sulfato de alumínio existente no processo (alimentação do flotador). A NF permitiu a elevada remoção da cor residual, restando somente orgânicos de pequeno tamanho, que não são rejeitados pela membrana NF-270.

5.3.2. Alumínio, ferro, dureza e sulfato

Tabela 10. Dados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE RJ

Ponto	Al (mg/L)	Remoção (%)	Dureza Ca (ppm CaCO3)	Remoção (%)	Dureza Mg (ppm CaCO3)	Remoção (%)	Fe (mg/L)	Remoção (%)	Sulfato	Remoção (%)
RJ1	0.402	-	116.58	-	24.92	-	2.07	-	42.5	-
RJ2	0.431	-7.0%	37.60	67.7%	6.40	74.3%	2.66	-28.5%	62.5	-47.1%
RJ3	0.160	62.8%	36.40	3.2%	11.40	-78.1%	0.53	80.3%	3.5	94.4%
RJ4	0.338	-111.3%	33.60	7.7%	16.20	-42.1%	0.99	-88.6%	14.5	-314.3%
RJ5	0.006	98.4%	29.40	12.5%	6.20	61.7%	0.045	95.5%	10.5	27.6%
RJ6	0.003	54.5%	0.33	98.9%	0.11	98.3%	0	100.0%	0	100.0%

Figura 42. Resultados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE RJ

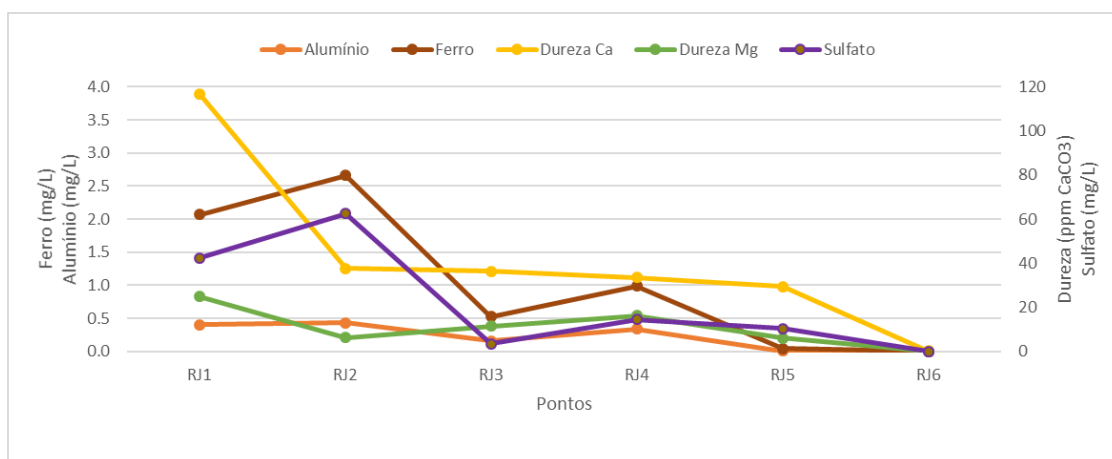
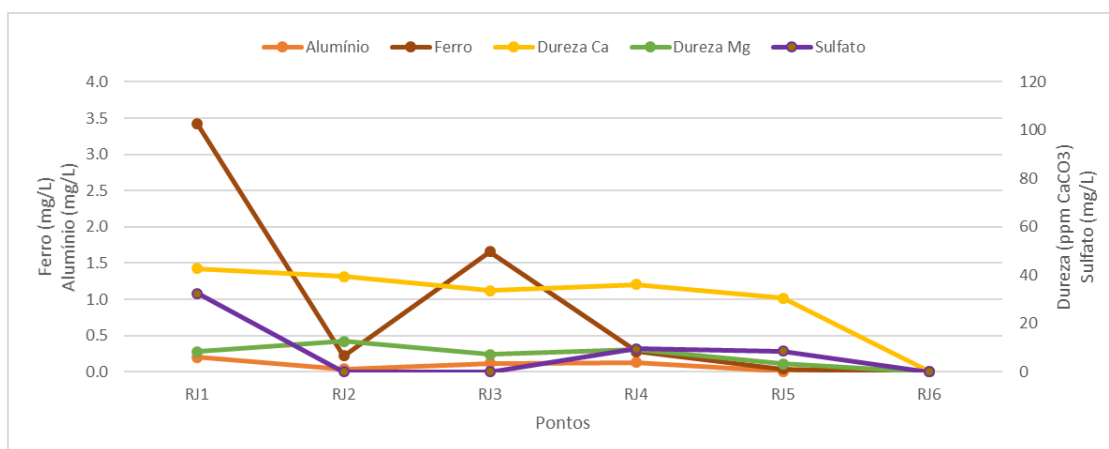


Tabela 11. Dados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE RJ

Ponto	Al (mg/L)	Remoção (%)	Dureza Ca (ppm CaCO3)	Remoção (%)	Dureza Mg (ppm CaCO3)	Remoção (%)	Fe (mg/L)	Remoção (%)	Sulfato	Remoção (%)
RJ1	0.202	-	42.80	-	8.40	-	3.42	-	32.5	-
RJ2	0.040	80.2%	39.40	7.9%	12.60	-50.0%	0.22	93.6%	0	100.0%
RJ3	0.118	-193.8%	33.60	14.7%	7.20	42.9%	1.66	-654.5%	0	-
RJ4	0.128	-8.5%	36.20	-7.7%	9.40	-30.6%	0.275	83.4%	9.5	-9400.0%
RJ5	0.006	95.3%	30.40	16.0%	3.38	64.1%	0.04	85.5%	8.5	10.5%
RJ6	0.002	66.7%	0.11	99.7%	0.03	99.3%	0	100.0%	0	100.0%

Figura 43. Resultados de alumínio, ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE RJ



Analisando os valores de alumínio e ferro entre lagoas, pode-se observar elevada variabilidade nos resultados, indicando que vários mecanismos como precipitação, ressolubilização e complexação podem estar envolvidos. A UF permitiu remoção praticamente completa, enquanto a NF conseguiu remover o ferro e alumínio residuais dissolvidos.

Os valores de dureza também apresentaram certa variabilidade, neste caso precipitação e ressolubilização de sais de cálcio e magnésio são os principais mecanismos responsáveis pela redução e incremento em algumas etapas do tratamento.

Já no parâmetro sulfato, além dos processos químicos de precipitação, outro fator interfere nas suas concentrações em sistemas de lagoas: a presença de bactérias redutoras de sulfato (BRS). Estas bactérias permitem a remoção de sulfato, principalmente em lagoas anaeróbias (SAAVEDRA, 2017), fato

observado na segunda coleta, onde praticamente todo o sulfato do esgoto bruto foi convertido na primeira lagoa. O sistema de membranas foi responsável pela remoção do conteúdo de sulfato na saída da lagoa de maturação, com a UF removendo pequenas quantidades (possivelmente sulfato associado à sólidos em suspensão) e a NF removendo o sulfato totalmente.

Tabela 12. Dados de ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE BN

Ponto	Dureza Ca (ppm CaCO ₃)	Remoção (%)	Dureza Mg (ppm CaCO ₃)	Remoção (%)	Fe (mg/L)	Remoção (%)	Sulfato (mg/L)	Remoção (%)
BN1	45.60	-	9.00	-	1.5	-	8.5	-
BN2	46.46	-1.9%	8.66	3.8%	0.7	52.7%	47.2	-454.9%
BN3	51.29	-10.4%	9.55	-10.3%	<0.1	100.0%	47.9	-1.5%
BN4	6.45	87.4%	1.20	87.4%	<0.1	-	0.7	98.5%

Figura 44. Resultados de ferro, dureza e sulfato da primeira rodada de análises da ETE BN

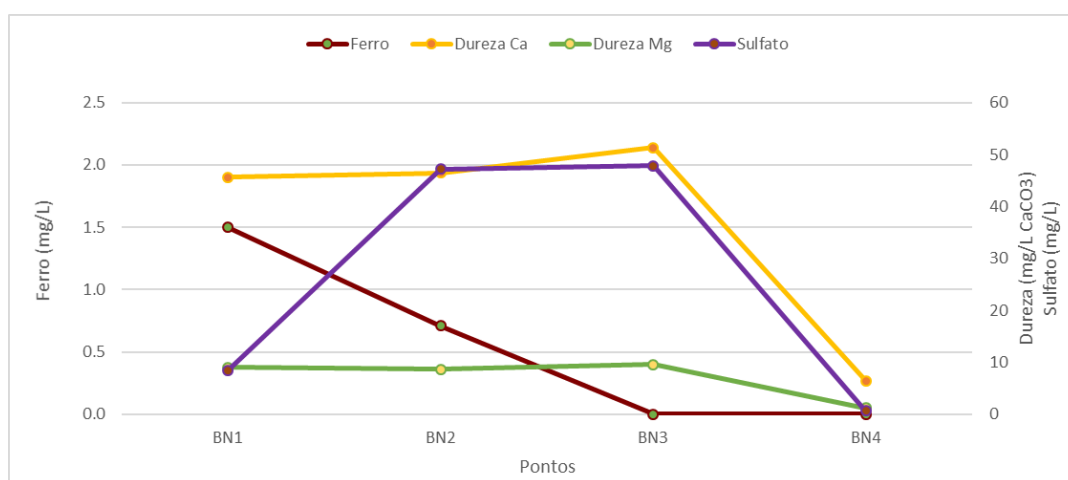
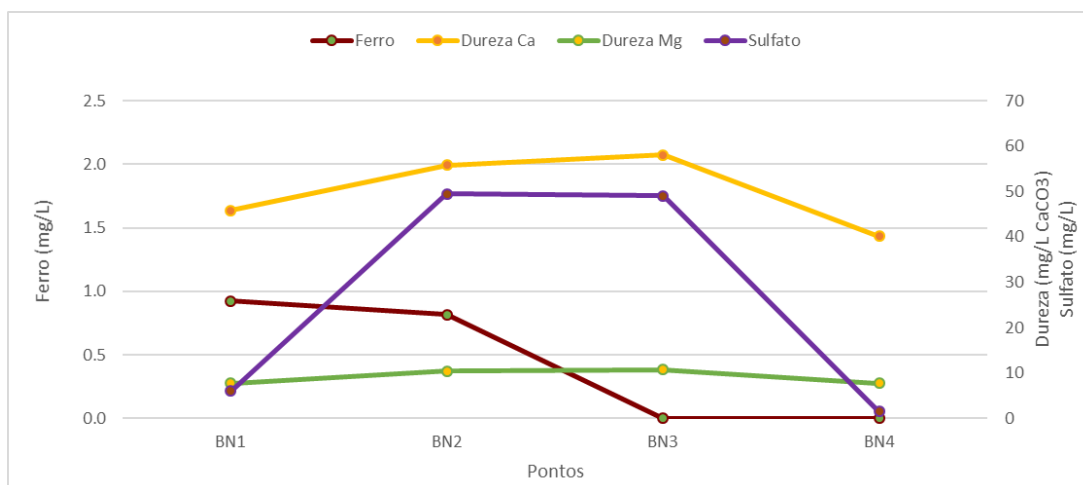


Tabela 13. Dados de ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE BN

Ponto	Dureza Ca (ppm CaCO ₃)	Remoção (%)	Dureza Mg (ppm CaCO ₃)	Remoção (%)	Fe (mg/L)	Remoção (%)	Sulfato (mg/L)	Remoção (%)
BN1	45.80	-	7.80	-	0.9	-	6.0	-
BN2	55.8	-21.8%	10.4	-33.3%	0.8	11.7%	49.4	-724.0%
BN3	58.1	-4.1%	10.8	-3.8%	<0.1	100%	49.1	0.7%
BN4	40.1	31.0%	7.8	27.8%	<0.1	-	1.6	96.8%

Figura 45. Resultados de ferro, dureza e sulfato da segunda rodada de análises da ETE BN



O ferro foi removido em pequena escala no biológico e totalmente removido na UF. Neste sentido a NF, apesar de remover metais com elevada eficiência, não foi necessária para reduzir a concentração deste metal. O parâmetro alumínio não foi analisado por problemas no laboratório que iria realizar a análise.

Com relação à dureza, novamente, o biológico não reduziu significativamente as concentrações deste parâmetro. Mesmo comportamento da UF. A remoção, apenas parcial, de dureza na NF era esperada pela rejeição típica deste tipo de membrana

No parâmetro sulfato houve um grande salto de concentração entre entrada e saída do biológico. Este fato se deve à dosagem de sulfato de alumínio, coagulante dosado na saída do biológico e que alimenta o sistema de polimento por flotação. Na sequência, essa concentração maior de sulfato, que não é removida eficientemente pela UF, foi removida com alta eficiência na membrana de NF.

5.3.3. Carbono orgânico total, amônia, nitrato, nitrogênio e fósforo total

Tabela 14. Dados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE RJ

Ponto	COT (mg/L)	Remoção (%)	Nitrato (mg/L)	Remoção (%)	Amônia (mg/L)	Remoção (%)	Fósforo total (mg/L)	Remoção (%)	Nitrogênio total (mg/L)	Remoção (%)
RJ1	162	-	12.1	-	64.35	-	9.7	-	90.0	-
RJ2	54	66.7%	0.9	92.6%	37.50	41.7%	5.8	40.1%	48.8	45.8%
RJ3	61	-13.0%	0.5	44.4%	25.65	31.6%	5.7	2.9%	49.0	-0.4%
RJ4	195	-219.7%	4.3	-760.0%	15.3	40.4%	5.1	9.7%	18.0	63.3%
RJ5	20.5	89.5%	4.15	3.5%	12.9	15.7%	2.5	51.4%	10.0	44.4%
RJ6	0.8	96.1%	0	100.0%	0.02	99.8%	0.03	98.9%	0.5	95.0%

Figura 46. Resultados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE RJ

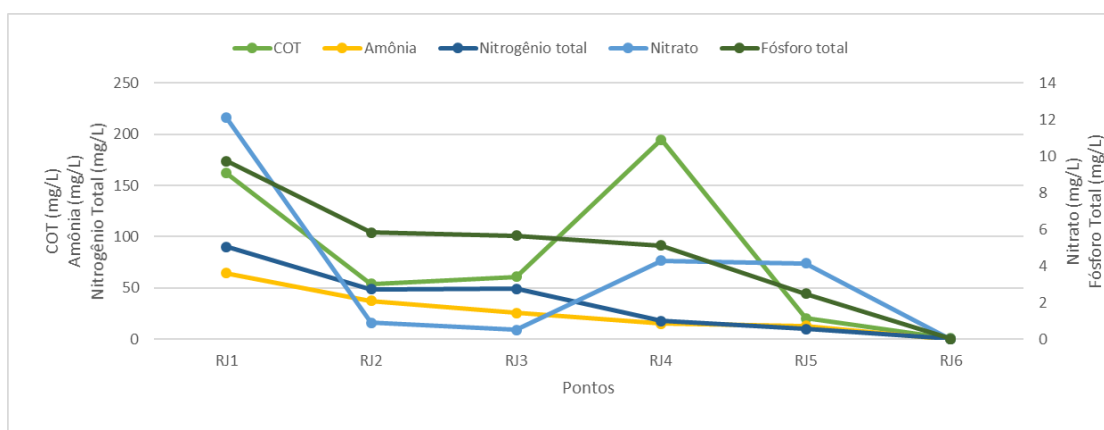
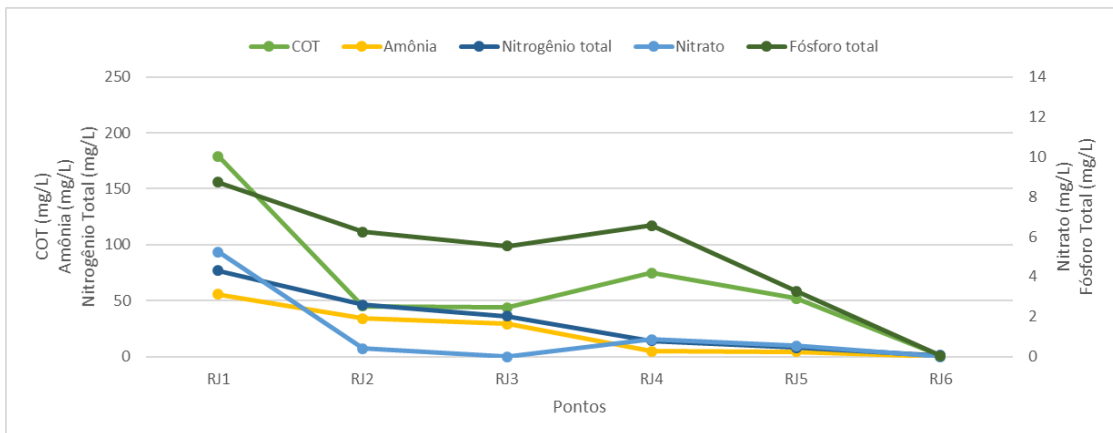


Tabela 15. Dados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da segunda rodada de análises da ETE RJ

Ponto	COT (mg/L)	Remoção (%)	Nitrato (mg/L)	Remoção (%)	Amônia (mg/L)	Remoção (%)	Fósforo total (mg/L)	Remoção (%)	Nitrogênio total (mg/L)	Remoção (%)
RJ1	179	-	5.2	-	55.65	-	8.7	-	76.8	-
RJ2	45	74.9%	0.4	92.4%	34.05	38.8%	6.2	28.6%	46.5	39.4%
RJ3	44	2.2%	0.0	90.0%	29.40	13.7%	5.5	11.2%	36.0	22.6%
RJ4	75	-70.5%	0.9	-2025.0%	4.65	84.2%	6.6	-18.4%	14.0	61.1%
RJ5	52	30.7%	0.6	35.3%	4.50	3.2%	3.3	50.1%	8.0	42.9%
RJ6	1	98.9%	0.0	100.0%	0.15	96.7%	0.0	99.1%	1.3	83.8%

Figura 47. Resultados de carbono orgânico total, amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da segunda rodada de análises da ETE RJ



O carbono orgânico total foi removido com boa eficiência na lagoa anaeróbia e com baixa eficiência (na segunda coleta), e aumento (na primeira coleta) na facultativa, fato que pode estar relacionado à presença de algas na lagoa. Este mesmo fato foi observado na lagoa de maturação, onde a elevada quantidade de algas elevou substancialmente o COT. Na sequência, a UF permitiu a remoção substancial do conteúdo de algas, conforme figura 48, e matéria orgânica em suspensão.

Figura 48. Membrana de UF após filtração com grande quantidade de algas retidas



Fonte: Autor

A eficiência de remoção de COT, assim como comentado anteriormente sobre a cor, pode ser aumentada com coagulação prévia. O COT dissolvido do filtrado da UF foi removido com elevada remoção na membrana de osmose. É importante salientar que membranas de osmose não são barreiras absolutas para qualquer molécula orgânica, conforme observado na tabela 16:

Tabela 16. Rejeição típica de orgânicos com membranas de osmose Filmtec™

Soluto	Peso Molecular	Rejeição
Etanol	46	70%
Isopropanol	60	90%
Ácido láctico (pH 2)	90	94%
Ácido láctico (pH 5)	90	99%
Lactose	342	>99%
Sacarose	342	>99%

Fonte: DuPont

Já com relação ao nitrato, foi possível observar valores no esgoto após tratamento preliminar, situação pouco comum em esgotos sanitários. Este fato pode estar relacionado a presença de efluentes hospitalares que são tratados juntamente com o esgoto sanitário nesta ETE. Este nitrato foi removido na lagoa anaeróbia, na ausência de oxigênio, bactérias usam o nitrato para oxidar compostos orgânicos, em um processo chamado respiração anaeróbia. Na primeira coleta, observou-se um aumento do nitrato na saída da lagoa de maturação, indicando nitrificação (conversão de amônia para nitrato). Já na segunda coleta, não houveram mudanças significativas nas lagoas facultativas e maturação, nem na UF. Finalmente a membrana de osmose reversa, removeu totalmente o nitrato.

Com relação à amônia observou-se redução gradual nas lagoas, pelo processos de nitrificação, volatilização e assimilação da amônia pelas algas (VON SPERLING, 1997). A membrana de osmose foi capaz de remover com elevada eficiência o nitrogênio amoniacal, sendo o residual provavelmente na forma de amônia livre (principalmente presente em elevado pH) que a membrana não possui boa eficiência de remoção.

O nitrogênio total foi removido com relativa eficiência, principalmente na lagoa de maturação, possivelmente pelos mecanismos de remoção de nitrato e amônia já descritos, a desnitrificação (conversão de nitrato para nitrogênio gasoso) e também pela possibilidade de sedimentação do nitrogênio orgânico particulado. Este último ponto pode ser observado também na remoção parcial de nitrogênio total na UF, que pode estar relacionado também à remoção de algas. na osmose, todas as formas de nitrogênio orgânico e inorgânicos foram removidas com elevada eficiência, com baixas concentrações no permeado.

Na parte do fósforo, foi possível observar baixa eficiência global das lagoas para remoção deste contaminante, somente contando a limitada remoção biológica. Já na UF, como não há precipitação química com coagulante, a remoção ficou ao redor de 50% - que pode alcançar valores de mais 93% com dosagem de sulfato de alumínio (BERTOLOSSI, 2019). A osmose reversa foi capaz de remover o completamente o fósforo residual nas suas diferentes formas.

Tabela 17. Dados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE BN

Ponto	Nitrato (mg/L)	Remoção (%)	Amônia (mg/L)	Remoção (%)	Fósforo total (mg/L)	Remoção (%)	Nitrogênio total (mg/L)	Remoção (%)
BN1	0.1	-	38.10	-	6.4	-	72.5	-
BN2	1.1	-1039.0%	14.50	61.9%	1.1	83.1%	32.5	55.2%
BN3	1.2	-6.4%	11.60	20.0%	0.1	87.1%	25.5	21.5%
BN4	0.7	44.6%	5.52	52.4%	0.0	85.0%	12.0	53.1%

Figura 49. Resultados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE BN

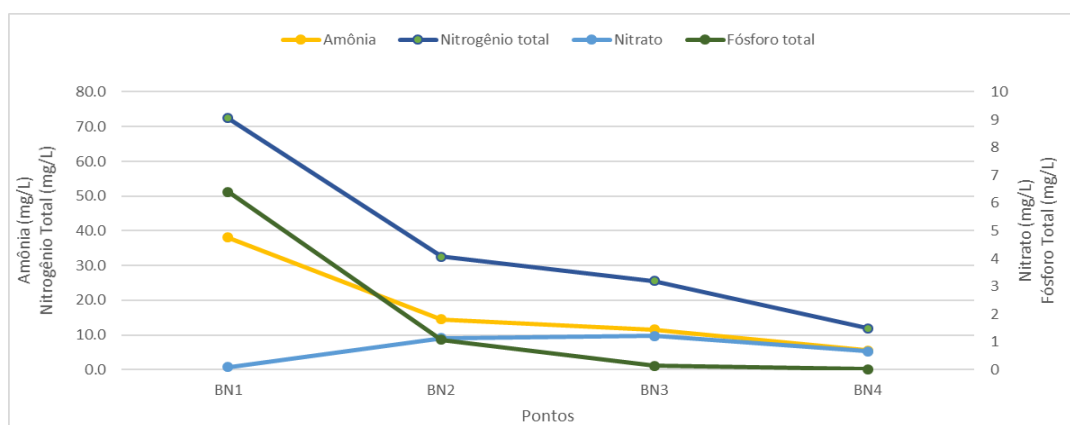
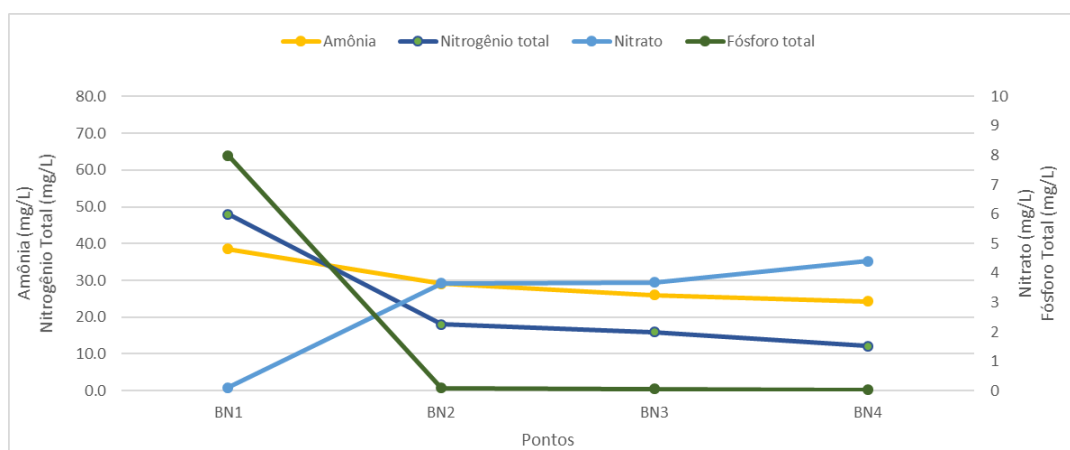


Tabela 18. Dados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da segunda rodada de análises da ETE BN

Ponto	Nitrato (mg/L)	Remoção (%)	Amônia (mg/L)	Remoção (%)	Fósforo total (mg/L)	Remoção (%)	Nitrogênio total (mg/L)	Remoção (%)
BN1	0.1	-	38.50	-	8.0	-	48.0	-
BN2	3.6	-3548.0%	29.10	24.4%	0.1	98.8%	18.0	62.5%
BN3	3.7	-0.9%	26.00	10.7%	0.1	37.1%	16.0	11.1%
BN4	4.4	-19.6%	24.30	6.5%	0.0	39.3%	12.1	24.4%

Figura 50. Resultados de amônia, nitrogênio total, nitrato e fósforo total da primeira rodada de análises da ETE BN



O parâmetro COT, infelizmente não foi analisado, devido à indisponibilidade do equipamento no período do estudo.

No sistema de lodos ativados, o nitrato na alimentação não foi observado e assim o processo de nitrificação foi o responsável pelo aumento no efluente tratado. Neste caso, o sistema de membranas teve baixa eficiência, pois a membrana de NF não possui elevada rejeição de íons monovalentes como o nitrato.

Com respeito à amônia, a primeira coleta apresentou melhores resultados de remoção no biológico que na segunda coleta. A eficiência do sistema de membranas acompanhou esta tendência.

A influência do alto pH contribuiu para a menor rejeição de amônia na segunda coleta quando comparamos com a primeira coleta.

Finalmente os resultados de fósforo indicam boa eficiência da remoção biológica deste contaminante. E como esperado, o sistema de membranas de UF apresentou elevada remoção pela coagulação prévia e com a NF removendo o residual dissolvido.

5.4. Resultados das análises de fármacos e cafeína

Dentre os fármacos de interesse, sinvastatina e clonazepam não foram identificados em nenhuma das amostras das ETEs.

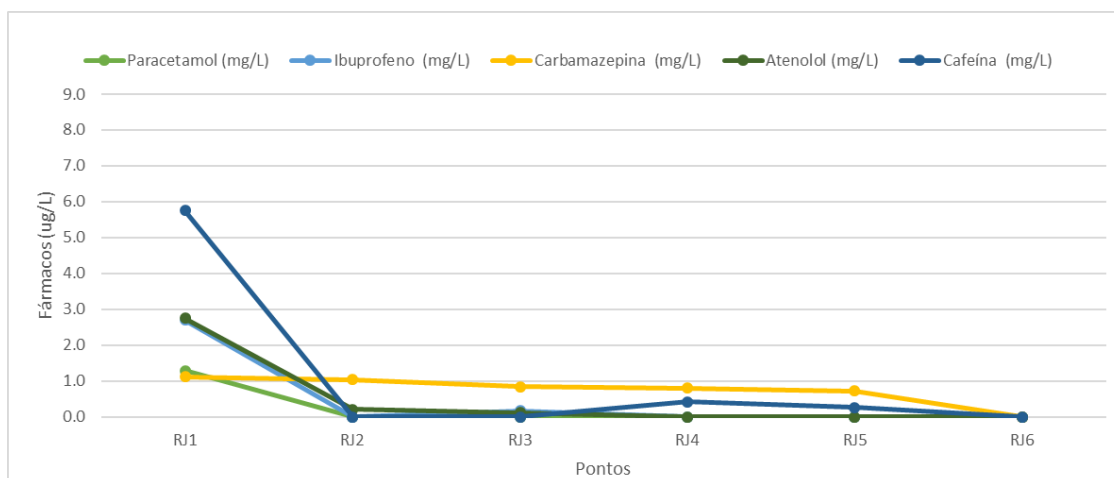
A sinvastatina, apesar da distribuição no SUS e dosagem mais alta, não foi detectada nas ETEs, possivelmente pela tendência de adsorção em sólidos em suspensão. Como todas as amostras injetadas no sistema LC-MS/MS, passam por etapas de filtração, caso haja presença deste composto na fase sólida, a detecção na fase líquida seria mais difícil. Para o clonazepam, por ser um fármaco controlado e com baixa dosagem terapêutica, dados da literatura já indicavam essa possibilidade, confirmada com a ausência nas ETEs – tanto no esgoto bruto como tratado (GUEDES, 2017).

Com relação aos outros fármacos de interesse os dados podem ser encontrados na sequência.

Tabela 19. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE RJ

Ponto	Paracetamol (ug/L)	Remoção (%)	Ibuprofeno (ug/L)	Remoção (%)	Carbamazepina (ug/L)	Remoção (%)	Atenolol (ug/L)	Remoção (%)	Cafeína (ug/L)	Remoção (%)
RJ1	12.90	-	2.70	-	1.12	-	2.75	-	575.00	-
RJ2	<0.10	100.0%	<0.10	100.0%	1.04	7.1%	0.22	92.0%	<0.10	100.0%
RJ3	<0.10	-	0.18	-	0.85	18.8%	0.12	45.2%	0.10	-
RJ4	<0.10	-	<0.10	100.0%	0.81	4.3%	<0.10	100.0%	0.43	-325.0%
RJ5	<0.10	-	ND	-	0.72	10.8%	ND	-	0.26	38.1%
RJ6	<0.10	-	ND	-	ND	100.0%	ND	-	<0.10	100.0%

Figura 51. Resultados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE RJ

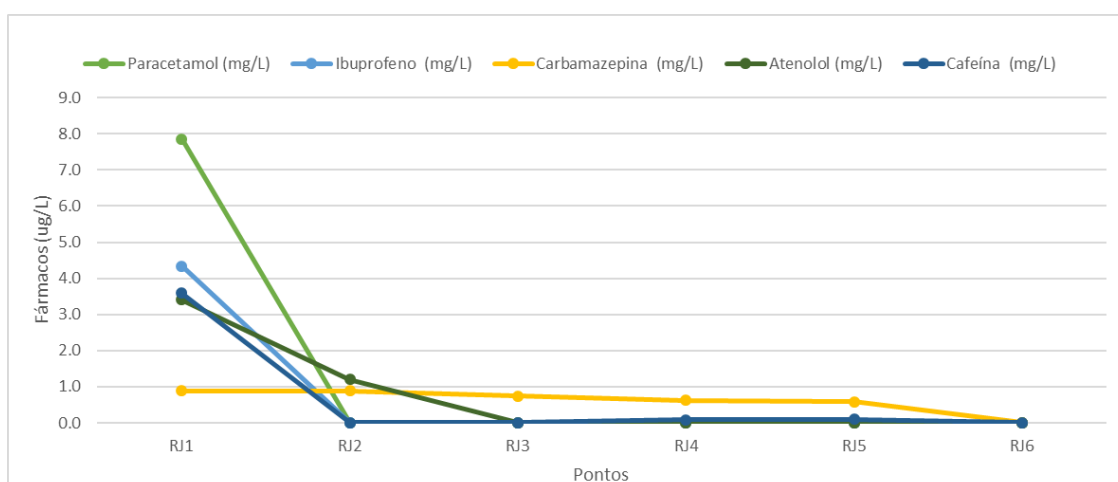


*valores de paracetamol foram divididos por 10 e cafeína por 100 para melhor visualização nos gráficos

Tabela 20. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da segunda rodada de análises da ETE RJ

Ponto	Paracetamol (ug/L)	Remoção (%)	Ibuprofeno (ug/L)	Remoção (%)	Carbamazepina (ug/L)	Remoção (%)	Atenolol (ug/L)	Remoção (%)	Cafeína (ug/L)	Remoção (%)
RJ1	78.50	-	4.34	-	0.88	-	3.41	-	359.00	-
RJ2	<0.10	100%	<0.10	100%	0.89	-1%	1.20	65%	<0.10	100%
RJ3	<0.10	-	ND	-	0.75	16%	<0.10	100%	<0.10	-
RJ4	<0.10	-	<0.10	-	0.62	17%	<0.10	-	0.18	-80.0%
RJ5	<0.10	-	ND	-	0.58	6%	<0.10	-	0.10	44.4%
RJ6	<0.10	-	ND	-	ND	100%	ND	-	<0.10	100%

Figura 52. Resultados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE RJ



*valores de paracetamol foram divididos por 10 e cafeína por 100 para melhor visualização nos gráficos

No sistema de lagoas, o paracetamol foi encontrado em elevadas concentrações no esgoto após tratamento preliminar possivelmente por dois motivos: a influência dos efluentes hospitalares nesta ETE e pelo alto consumo de remédios para tosse e analgésicos, sendo este fármaco um dos mais populares analgésicos e antipiréticos usados em todo o mundo, disponível sem receita médica (AL-MASHAQBEH, 2019). Ele foi removido completamente no sistema de lagoas, já na lagoa anaeróbia. Dados de literatura indicam a elevada biodegradabilidade deste composto, inclusive em lagoas de estabilização (GUEDES, 2017, AL-MASHAQBEH, 2019, KUMAR & KUMAR, 2020).

O ibuprofeno também foi quantificado nas duas amostras de esgoto bruto, em menores concentrações, mas também foi removido no biológico na etapa da lagoa anaeróbia. Na primeira amostragem, na saída da lagoa facultativa detectou uma concentração maior deste composto, indicando possível liberação do composto da fase sólida, já que o composto é pouco solúvel em água e têm potencial de adsorção em sólidos suspensos (GUEDES, 2017).

A carbamazepina foi encontrada em todas as amostras de esgoto até saída da membrana de UF, indicando que este composto é recalcitrante e de baixa biodegradabilidade, tendência já encontrada na literatura (AL-MASHAQBEH, 2019, BAI & ACHARYA, 2017, GUEDES, 2017). Neste sentido a membrana de osmose reversa foi importante para remoção completa no polimento final, indicando que esta tecnologia pode ser aplicada para tratar efluente contaminados com este tipo de fármaco.

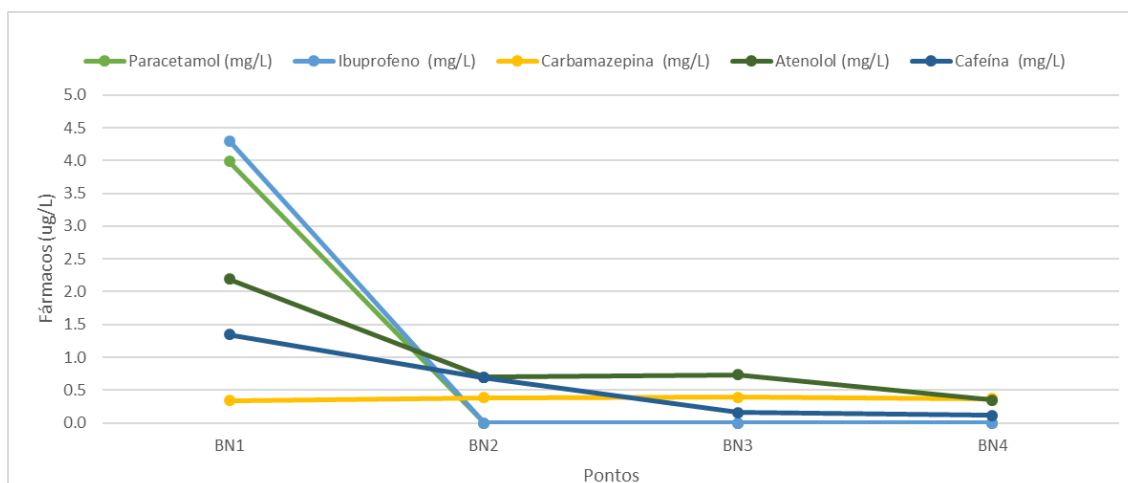
O atenolol foi identificado em ambas coletas no afluente, sendo removido em sequência nas lagoas, especialmente na lagoa anaeróbia e também na maturação onde não foi mais possível quantificá-lo, assim como observado em alguns trabalhos com diferentes tipos de tratamentos biológicos (CONKLE, 2008, KIRAN, 2020). Neste caso, o sistema de membrana de UF+OR, que apesar de possui elevada remoção deste componente (KIRAN, 2020), não foi afetado.

A cafeína foi o fármaco com maior concentração entre todos encontrados, no esgoto bruto. Tal fato é explicado pela presença de cafeína não somente em fármacos e suas formulações, como em diversos alimentos consumidos diariamente pela maior parte da população, como café, chocolates, refrigerantes e chás (IDE, 2013). Por esse motivo a cafeína é amplamente usada como indicador de contaminação por esgotos domésticos em águas. Com relação à remoção, em ambas coletas, a lagoa anaeróbia teve uma eficiência muito elevada na remoção deste composto. Porém também observou-se uma pequena liberação da cafeína após a lagoa facultativa, possivelmente pela liberação da fase sólida. No sistema de membranas a UF permitiu uma pequena remoção, enquanto a membrana de osmose permitiu a remoção completa, abaixo do limite de detecção do método ($< 0,1 \mu\text{g/L}$ ou ppb).

Tabela 21. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE BN

Ponto	Paracetamol (ug/L)	Remoção (%)	Ibuprofeno (ug/L)	Remoção (%)	Carbamazepina (ug/L)	Remoção (%)	Atenolol (ug/L)	Remoção (%)	Cafeína (ug/L)	Remoção (%)
BN1	39.90	-	4.30	-	0.34	-	2.19	-	135.00	-
BN2	0.10	100%	<0.10	100%	0.39	-14%	0.70	68%	0.69	99%
BN3	0.10	-	<0.10	-	0.39	-1%	0.74	-5%	0.16	77%
BN4	0.10	-	ND	-	0.37	5%	0.35	52%	0.12	27%

Figura 53. Gráfico de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da primeira rodada de análises da ETE BN

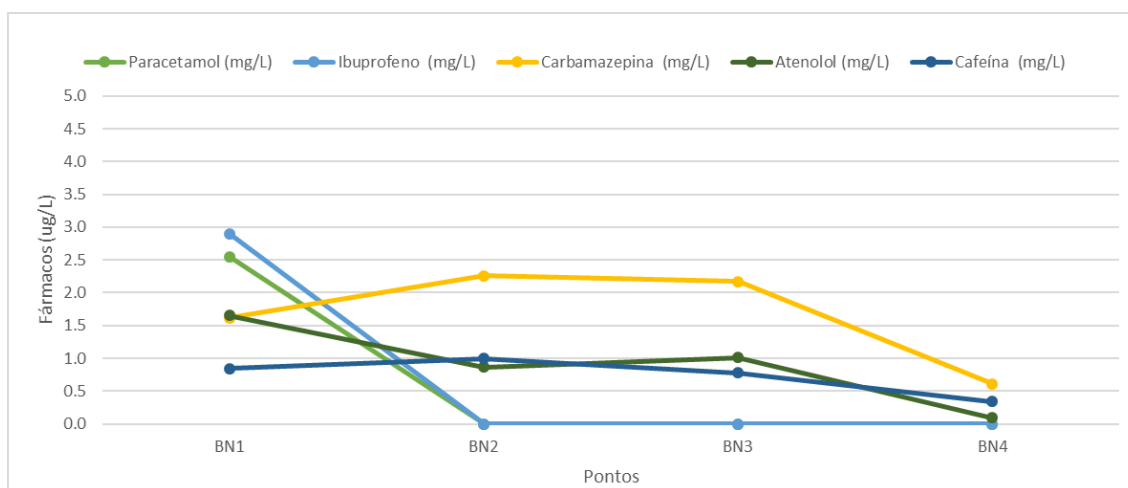


*valores de paracetamol foram divididos por 10 e cafeína por 100 para melhor visualização nos gráficos

Tabela 22. Dados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da segunda rodada de análises da ETE BN

Ponto	Paracetamol (ug/L)	Remoção (%)	Ibuprofeno (ug/L)	Remoção (%)	Carbamazepina (ug/L)	Remoção (%)	Atenolol (ug/L)	Remoção (%)	Cafeína (ug/L)	Remoção (%)
BN1	25.50	-	2.90	-	1.62	-	1.65	-	84.40	-
BN2	0.10	100%	<0.10	100%	2.26	-40%	0.87	48%	1.00	99%
BN3	<0.10	100%	<0.10	-	2.17	4%	1.01	-17%	0.78	22%
BN4	<0.10	-	ND	-	0.61	72%	<0.10	100%	0.34	56%

Figura 54. Resultados de paracetamol, ibuprofeno, carbamazepina, atenolol e cafeína da segunda rodada de análises da ETE BN



*valores de paracetamol foram divididos por 10 e cafeína por 100 para melhor visualização nos gráficos

No sistema de lodos ativados, o paracetamol também foi encontrado em concentrações maiores que os outros fármacos, além de ser removido completamente no sistema biológico deste tipo, corroborando dados de literatura (MIÈGE, 2009, AL-MASHAQBEH, 2019).

O ibuprofeno também foi removido nos lodos ativados, não sendo possível avaliar a eficiência de remoção deste composto nas membranas. Porém estudos com a membrana NF-270 disponíveis na literatura indicam significativa remoção deste composto, tanto em águas 75% (NARBAITZ, 2013) e >86% (GE, 2017), como em esgotos 85-95% (GARCÍA-IVARS, 2017).

A carbamazepina, pela característica recalcitrante, também não foi efetivamente removida no biológico, algo já esperado conforme dados de literatura (AL-MASHAQBEH, 2019), sendo na verdade liberada em ambas coletas. Este fenômeno pode ser explicado devido à quebra do conjugado glicuronídeo da carbamazepina e subsequente liberação da forma livre da droga (VIENO, 2006). Como esperado a remoção pela UF também foi insignificante, enquanto a membrana de NF possuiu comportamento diferente nas duas coletas. Na primeira coleta, a remoção foi baixa, apenas 5%, enquanto na segunda coleta foi de 72%. Este último valor está mais próximo de valores de literatura, que em diferentes valores de pH indicam remoções acima de cerca 80% (SIMON, 2013). O valor baixo de remoção, mesmo que trabalhando em pH mais baixo comparado à segunda coleta, não deveria ser determinante para tamanha diferença. Neste sentido, possivelmente houve algum problema analítico ou de amostragem durante a análise no LC-MS/MS.

Com relação ao atenolol, o sistema de lodos ativados apresentou boa eficiência de remoção em ambas coletas (68% e 48%), um pouco abaixo da média encontrada (76%) em estudos na literatura (VIENO, 2006). Na UF, observou-se pequeno incremento na saída da membrana, possivelmente devido à dessorção de partículas em suspensão durante a etapa de filtração. Já a NF, permitiu a remoção de 52 e 100% do fármaco, possivelmente influenciada pelo maior pH da segunda coleta.

Já com relação à cafeína, o sistema de lodos ativados obteve elevada remoção (99%) em ambas coletas, valor similar ao encontrado na literatura de 99,9% (AL-MASHAQBEH, 2019). A eficiência da UF foi de 77 e 22%, podendo ser explicada pela remoção física de partículas onde a cafeína poderia estar adsorvida, lembrando que neste caso a coagulação também pode explicar remoção parcial deste composto. Finalmente a NF também apresentou remoção somente parcial, de 27 e 56%, sendo este último similar ao resultado obtido na literatura de menos de 60% (GARCÍA-IVARS, 2017)

5.5. Dimensionamento com software

Qualquer projeto, de estação de tratamento de água ou esgoto, que use membranas depende de um software de dimensionamento do fornecedor. Neste sentido, usando como referência os dados de qualidade da ETE BN (que possuía um maior e mais completo histórico de dados) e uma vazão referencial de 108 m³/h (30 L/s) de alimentação (saída da ETE), foram dimensionados dois sistemas usando o software WAVE (*Water Application Value Engine*) da DuPont. O primeiro sistema usando ultrafiltração seguida de nanofiltração e o segundo com ultrafiltração seguida de osmose reversa. Detalhes na tabela 23:

Tabela 23. Descrição dos sistemas UF + NF e UF + OR para uma vazão de alimentação de 108 m³/h

	UF+NF	UF+RO
Água bruta	Efluente ETE	Efluente ETE
Vazão de alimentação	108 m ³ /h (30 L/s)	108 m ³ /h (30 L/s)
Modelo de membrana de UF	Integraflux SFP-2880XP	Integraflux SFP-2880XP
N° de membranas de UF	36	36
Modelo de membrana de NF/RO	Filmtec™ NF-270-400/34i	Filmtec™ ECO PLATINUM-440i
N° de membranas de NF/RO	126	120
Recuperação pré-filtração UF	99,5%	99,5%
Recuperação UF	88,45%	88,45%
Recuperação NF/RO	78%	78%
Recuperação global*	68,7%	68,7%
Vazão final tratada	74,2 m ³ /h (20,6 L/s)	74,2 m ³ /h (20,6 L/s)

*os efluentes da UF podem ser recirculados para entrada da ETE. O valor global não considera este retorno, somente as perdas teóricas de cada etapa.

Além dos sistemas convencionais de NF e OR (geração contínua de rejeito), foram avaliados também a opção de sistemas de circuito fechado (CCNF e CCRO, respectivamente), que trabalham com purga de rejeito intermitente, permitindo uma maior recuperação do sistema. Nesse sentido, considerando-se as mesmas condições de alimentação foi possível alcançar valores maiores de recuperação de 91% e 95% (considerando a recuperação de 78% dos sistemas convencionais), conforme tabela 24:

Tabela 24: Descrição dos sistemas UF + CCNF e UF + CCRO para uma vazão de alimentação de 108 m³/h

	UF+NF	UF+RO
Água bruta	Efluente ETE	Efluente ETE
Vazão de alimentação	108 m ³ /h (30 L/s)	108 m ³ /h (30 L/s)
Modelo de membrana de UF	Integraflux SFP-2880XP	Integraflux SFP-2880XP
N° de membranas de UF	36	36
Modelo de membrana de NF/RO	Filmtec™ NF-270-400/34i	Filmtec™ ECO PLATINUM-440i
N° de membranas de NF/RO	156	138
Recuperação pré-filtração UF	99,5%	99,5%
Recuperação UF	88,45%	88,45%
Recuperação NF/RO	95%	91%
Recuperação global*	83,6%	80,0%
Vazão final tratada	90,3 m ³ /h (25,1 L/s)	86,5 m ³ /h (24,0 L/s)

*os efluentes da UF podem ser recirculados para entrada da ETE. O valor global não considera este retorno, somente as perdas téóricas de cada etapa.

Os dimensionamentos com as informações mais relevantes de cada projeto encontram-se no apêndice C.

5.6. Estimativa de custos

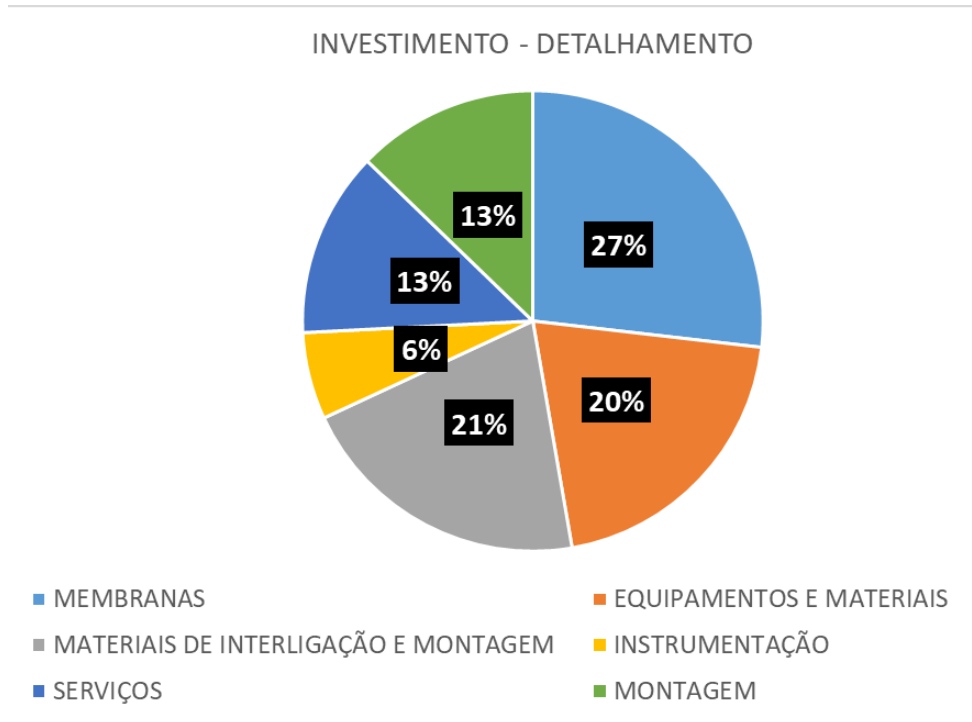
Considerando-se os dimensionamentos dos sistemas convencionais de UF+NF e UF+OR, foram levantados os custos estimativos de implantação do equipamento, assim como os custos operacionais.

Para os custos de implantação dos equipamentos foram considerados valores de mercado atualizados, com a seguinte estimativa: valor de US\$ 10.200 por m³/h de efluente de alimentação. Multiplicando pela vazão de 108 m³/h, o valor estimado da planta é de cerca de US\$ 1.101.600, que inclui:

- Membranas (UF e NF/OR);
- Equipamentos do sistema de UF (bombas de alimentação, retrolavagem e dosadoras de químicos, pré-filtro, válvulas, soprador, skid e tanques)
- Equipamentos do sistema de NF/OR (bombas de alta pressão, limpeza química e dosadoras, vasos de pressão, filtro cartucho, válvulas e tanques)
- Materiais de interligação e montagem (tubulações, suportes, materiais pneumáticos, compressor de ar, materiais de fixação, painel elétrico, materiais elétricos);
- Instrumentação (medidores e transmissores de vazão, pressão e nível, chaves de nível, analisadores de pH, condutividade, cloro e turbidez, rotâmetros, manômetros)
- Serviços: engenharia, projeto, frete, automação, supervisão, comissionamento e partida, montagem eletromecânica

Todos os valores acima foram separados em categorias, para melhor entendimento da composição de custo em um investimento potencial, conforme figura 55. As membranas representam aproximadamente 27% do custo total de um equipamento. Nesta simulação, os valores de investimento dos sistemas de NF e OR, foram considerados iguais, já que estes tipos de sistemas, apesar de algumas diferenças pontuais, possuem custos totais muito similares.

Figura 55. Distribuição dos custos de implantação para um sistema de NF/OR



Com relação aos custos operacionais, foram considerados os valores de mercado para cada item, conforme tabela 25.

Tabela 25. Custos de membranas, químicos, energia e disposição de lodo usados nas estimativas

Parâmetro	Valor	Unidade
Energia	0.10	US\$/kWh
Troca de membranas (a cada 5 anos)	59460.54	US\$/Ano
Hipoclorito de Sódio 12%	0.40	US\$/kg
Hidróxido de Sódio 50%	0.43	US\$/kg
Ácido Cítrico 50%	1.53	US\$/kg
Anti incrustante*	0.82	US\$/kg
Produto químico - limpeza alcalina (NF/RO)**	4.36	US\$/kg
Produto químicos - limpeza ácida (NF/RO)***	2.18	US\$/kg
Custo de disposição - lodo UF	0.01	US\$/m ³

*nome comercial: PWT SpectraGuard™ 100

**nome comercial: PWT OptiClean™ B

*** nome comercial: PWT OptiClean™ A

Premissas para o cálculo do custo operacional, discriminados nas tabelas 26 e 27:

- Dólar usado: R\$ 5,36
- Mão-de-obra: não inclusa, considera a equipe de ETE existente
- Manutenção anual: 0,5% do valor do investimento (anual)
- Valor de troca de membranas diluído em 5 anos;
- Lodo da UF, custo da recirculação e neutralização usando dados de literatura (NEDER, 2020)
- Frequências de limpezas químicas na UF:
 - Limpeza CEB (*Chemical Enhanced Backwash*) ácida: 24h
 - Limpeza CEB alcalina: 12h
 - Limpeza CIP (*Clean-in-place*) ácida/alcalina: 30 dias
- Frequências de limpezas químicas na NF/OR: 60 dias
- Consumos diários de energia e químicos (cálculos de dosagens de anti incrustante disponíveis no apêndice D):

Tabela 26. Consumo de energia e químicos UF+NF para uma unidade de 108 m³/h

Parâmetro	Consumo diário	Unidade
Energia UF	154.7	kWh/d
Energia NF	311.1	kWh/d
Hipoclorito de Sódio 12%	25.2	kg/d
Ácido Cítrico 50%	11.7	kg/d
Hidróxido de Sódio 50%	5.3	kg/d
Anti incrustante	1.6	kg/d
Produto químico - limpeza alcalina (NF)	1.5	kg/d
Produto químicos - limpeza ácida (NF)	1.5	kg/d

Tabela 27. Consumo de energia e químicos UF+OR para uma unidade de 108 m³/h

Parâmetro	Consumo diário	Unidade
Energia UF	154.7	kWh/d
Energia OR	489.0	kWh/d
Hipoclorito de Sódio 12%	25.2	kg/d
Ácido Cítrico 50%	11.7	kg/d
Hidróxido de Sódio 50%	5.3	kg/d
Anti incrustante	1.6	kg/d
Produto químico - limpeza alcalina (OR)	1.5	kg/d
Produto químicos - limpeza ácida (OR)	1.4	kg/d

Finalmente, o custo operacional estimativo para cada sistema foi de:

- Sistema de UF+NF: US\$ 0,15 por m³ de efluente tratado
- Sistema de UF+OR: US\$ 0,16 por m³ de efluente tratado

A principal diferença dos sistemas basicamente está no consumo energético, que favorece o custo da nanofiltração, que opera em pressões mais baixas, gerando uma economia de cerca de US\$ 0,01 por m³ de efluente tratado. Também importante mencionar que nos casos alternativos apresentados de CCNF e CCRO, a nanofiltração teria um potencial de gerar mais efluente tratado (95%), comparado ao sistema de osmose (91%), reduzindo assim a geração de rejeito no sistema.

Com relação ao rejeito, este trabalho não considerou este ponto nos custos, pois a disposição ou tratamento depende muito da localização da ETE e questões ambientais, sendo necessário um aprofundamento maior neste tema. Neste sentido, haveria necessidade de um sistema de destruição das moléculas de fármacos presente no rejeito (em maiores concentrações), como processos oxidativos avançados, Entre as opções tecnológicas de destinação/tratamento existem diversas alternativas como (MAVUKKANDY, 2019).:

- Disposição no mar;
- Disposição no solo;
- Evaporação;

- Descarga mínima de líquidos (com uso de sistemas para concentração do rejeito);
- Descarga líquida zero (com processos térmicos de evaporação e/ou cristalização);
- Lagoas de evaporação solar;
- Destilação por membranas;
- Recuperação de nutrientes;
- Geração de produtos químicos

6. Conclusões

As dificuldades encontradas para avanço da universalização de coleta e tratamento de esgotos sanitários no Brasil, representa um risco à saúde pública mas também uma oportunidade para empresas do setor de saneamento melhorarem seus processos de tratamentos, em termos de inovação tecnológica e eficiência de remoção de contaminantes.

Como mencionado neste trabalho, muitos municípios brasileiro ainda não possuem coleta e tratamento de esgotos, ou em alguns casos ainda possuem processos primários ineficientes para garantir uma boa proteção dos mananciais que recebem tais esgotos. Ainda existem inclusive capitais com essa condição. Pensar em tratamento para remoção de nutrientes, por exemplo, pode ser algo distante em muitas localidades. Contudo essa situação não impede os avanços tecnológicos que muitas vezes são necessários devido aos desafios de tratamento exigidos pela própria ação humana.

O desafio dos contaminantes emergentes, como os fármacos, trazem preocupações nos mais diversos países, pois a cada ano milhares de novas moléculas são desenvolvidas e podem chegar às nossas casas e hospitais. Os sistemas de tratamento de esgotos avançaram em muitos sentido na parte biológica, com sistemas mais eficientes para degradação de matéria orgânica e remoção de nutrientes, mas nenhuma delas foi desenhada especificamente para remoção de compostos deste tipo.

Nesse sentido, o uso de membranas vêm crescendo em aplicações de polimento e principalmente em sistemas de reuso para uso em recargas de aquíferos, potabilização (indireto ou direto) e industrial. Esse tipo de tecnologia, já aplicado na área industrial, vindo sendo estudado e aplicado em diversas ETEs no mundo, com foco na produção de efluente de qualidade, permitindo melhorias de qualidade nos corpos d'água, quantidade disponibilização de mais água para processos industriais, irrigação e, como mencionado, até potabilização.

O presente estudo avaliou, não somente a eficiência de remoção de sistemas convencionais de tratamento de esgoto na remoção de diversos contaminantes e fármacos, mas também a eficiência dos sistemas de polimento por membranas, principalmente nos casos onde os sistemas de lagoas de estabilização e lodos ativados não alcançam a remoção completa destes compostos.

Com relação às principais conclusões obtidas no estudo podemos destacar:

- A técnica analítica de LC-MS/MS demonstrou ser uma potente ferramenta para identificação e quantificação dos fármacos, alcançando limites de quantificação da ordem de 0,1 ppb;
- Os resultados obtidos são válidos apenas para a fração líquida, já que há necessidade de filtração para proteção dos equipamentos analíticos;
- Decidiu-se não contaminar as amostras (*spike*) com os fármacos para entender a real concentração de fármacos na ETEs, focando na real condição do esgotos, não somente na remoção pelas membranas;
- Alguns fármacos como o clonazepam e sinvastatina não foram identificados pela metodologia aplicada, provavelmente devido ao seu uso controlado e baixas dosagens terapêuticas, respectivamente;
- O sistema de lagoas de estabilização, com sua configuração anaeróbia-facultativa-maturação, permitiu a remoção parcial de nutrientes como fósforo e nitrogênio, o que era esperado, já que esse tipo de sistema é desenhado para remoção de carga orgânica. Com relação ao parâmetro COT, houve aumento das concentrações pelo crescimento de algas no próprio sistema (parte importante do processo), mas como esse material pode causar entupimento de membranas, foi preciso desenhar o sistema com o uso de membranas de UF para proteção das membranas de NF e OR, que realmente são as mais indicadas para remoção de contaminantes como fármacos e outros compostos dissolvidos;
- Na parte de metais e outros sais, as lagoas também não possuem a eficiência necessária para proteção das membranas de NF e OR. Novamente a UF foi importante para remover metais e outros compostos

em suspensão que podem causar entupimento, incrustações e redução de vida útil.

- No esgoto da ETE de lagoas foram encontradas elevadas concentrações de alguns fármacos, notadamente cafeína (575 e 359 ppb) e paracetamol (12,9 e 78,5 ppb) já esperado pelo uso recorrente e sem prescrição médica, além da presença de efluente hospitalares que também contribuem para maiores concentrações de fármacos no esgoto bruto. Também foram identificados a carbamazepina (1,22 e 0,88 ppb), ibuprofeno (2,7 e 4,34 ppb) e atenolol (2,75 e 3,41 ppb)
- Com respeito ao fármacos, com os altos tempos de TDH, permitiram que as lagoas fossem eficientes para remoção de alguns dos fármacos estudados, como o paracetamol, ibuprofeno e cafeína com remoções próximas as 100%, podendo ser considerados de alta biodegradabilidade. Para o atenolol as remoções também foram consideradas boas (65 e 92% na lagoa anaeróbia). Já para a carbamazepina, composto já conhecido pela baixa biodegradabilidade, não houve remoção significativa.
- Com relação às membranas de ultrafiltração e osmose usadas no estudo, observou-se baixa eficiência de remoção dos fármacos no filtrado da UF (quando foram detectados por ineficiência da ETE ou quando foram liberados no processo de tratamento) nos casos da carbamazepina (10,8% e 6%) e cafeína (38,8% e 44,4%). Já a osmose, permitiu, como esperado, a remoção completa destes compostos, com valores abaixo do limite de detecção do método (0,1 ppb).
- Importante mencionar a possibilidade de liberação de alguns fármacos no processo de tratamento, observada neste estudo e outros na literatura, que deve ser analisado com cuidado, pois a não identificação do fármaco na entrada da ETE, não indica necessariamente a ausência na saída da ETE. Este fenômeno pode ocorrer devido à ressolubilização dos fármacos na fase líquida, provenientes da fase sólida (lodo). Desta forma, o estudo da fase sólida é de extrema importância para o entendimento do comportamento dos fármacos em ETEs
- No sistema de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes, a

remoção foi também parcial, principalmente nitrogênio total (55,2 e 62,5%) e amônia (61,9 e 24,4%), lembrando que o ponto de coleta foi após o decantador primário, e que o sistema possui polimento por flotação que não foi estudado neste trabalho. Neste sentido, a eficiência global da ETE não pode ser comparada com este estudo, devido aos diferentes pontos de coleta. Um exemplo seria o fósforo, que teria sua remoção ainda mais alta que a obtida neste estudo, se o cálculo fosse realizado comparando a concentração na entrada da ETE (antes do tratamento preliminar) com a saída (após flotação).

- Com relação aos metais, o ferro foi removido parcialmente (52,7 e 11,7%) demonstrando novamente a importância da UF na proteção da membrana de NF. O alumínio, não analisado neste trabalho, também deve ser considerado principalmente pelo uso de coagulante com este metal, que é removido eficientemente por membranas de UF. Neste sentido o sulfato, também base do coagulante, também deve ser avaliado neste tipo de projeto, pois pode causar precipitações em membranas de NF e OR, dependendo da concentração de outros compostos como cálcio.
- Com respeito ao esgoto afluente, também foram encontrados altos valores de paracetamol (39,9 e 25,5 ppb) e cafeína (135,0 e 84,4 ppb), valores médios menores que o esgoto da ETE de lagoas, comportamento esperado pela contribuição do esgoto hospitalar naquele sistema. Também foram identificados a carbamazepina (0,34 e 1,62 ppb), ibuprofeno (4,3 e 2,9 ppb) e atenolol (2,19 e 1,65 ppb).
- O sistema de lodos ativados, assim como as lagoas, alcançou eficiências elevadas na remoção de cafeína, paracetamol e ibuprofeno (> 99%, indicando que a biodegradabilidade destes compostos não foi impactada significativamente pelo tipo de processo de tratamento biológico. Com relação ao atenolol, as remoções foram um pouco menores (68 e 48%), que nas lagoas, talvez pelo menor TDH nos lodos ativados. Já para carbamazepina, houve liberação nas duas amostragens, indicando que esse mecanismo é o predominante frente à degradação do composto de difícil remoção.

- Com relação às membranas, observou-se que a membrana de UF obteve baixa remoção ou mesmo liberação de carbamazepina (-1% e 4%) e atenolol (-5% e -17%), já para cafeína a remoção foi mais significativa (77 e 22%). A membrana da NF permitiu a remoção parcial dos três fármacos: carbamazepina (5 e 72%), atenolol (52 e 100%) e cafeína (27 e 56%).

Os resultados obtidos indicam a possibilidade do uso das membranas para o polimento de efluentes de ETEs existentes, onde há necessidade de remoção de fármacos e outros contaminantes. Como recomendação, trabalhos futuros devem focar na operação contínua destes sistemas a fim de entender as variações sazonais na qualidade do esgoto bruto e também da eficiência das membranas que podem perder sua permeabilidade e rejeição com o entupimento e limpezas químicas. O ajuste dos parâmetros operacionais também é importante para validação dos projetos e dimensionamentos teóricos. O acoplamento de outras tecnologias com membranas também deve ser estudado para permitir melhores eficiências ou mesmo redução de custos.

Já com relação à questão econômica, é extremamente importante entender cada ETE e a real necessidade de inclusão de um sistema de polimento mais avançado. Considerando as opções estudadas, a osmose permite uma maior remoção de contaminantes, porém possui um custo operacional maior, enquanto a nanofiltração, apesar do menor custo operacional, possui um menor eficiência na remoção de contaminantes. Importante entender também qual o propósito de uso deste tipo de sistema, atendimento à legislação ou necessidade de reúso, para definir se o custo é viável ou se a aplicação requer determinada qualidade.

7. Referências

AL-MASHAQBEH O, ALSAFADI D, DALAHMEH S, BARTELT-HUNT S, SNOW D. Removal of Selected Pharmaceuticals and Personal Care Products in Wastewater Treatment Plant in Jordan. *Water*. 2019; 11(10):2004. <https://doi.org/10.3390/w11102004>

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, 2017.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (2018), ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO MERCADO FARMACÊUTICO - 2017

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (2019), ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO MERCADO FARMACÊUTICO - 2018

BAI, X. AND ACHARYA, K., Algae-Mediated Removal of Selected Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs) from Lake Mead Water, *Sci. Total Environ.*, Vol. 581-582, pp 734-740, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.192>

BERTOLOSSI, V. M. (2019). Avaliação do processo de ultrafiltração como alternativa à flotação por ar dissolvido para tratamento do efluente de lodos ativados: estudo em escala piloto aplicado ao caso da estação de tratamento de esgotos Brasília Norte. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília

CONKLE, J. L., WHITE J. R., METCALFE, C. D., Reduction of pharmaceutically active compounds by a lagoon wetland wastewater treatment system in Southeast Louisiana, *Chemosphere*, Volume 73, Issue 11, 2008, Pages 1741-1748, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.09.020>.

DOMINGUES P.H.F., GALVÃO T.F., ANDRADE K.R.C.D., SÁ P.T.T.D., SILVA, M.T., PEREIRA M.G.. Prevalence of self-medication in the adult population of Brazil: a systematic review. Rev Saúde Pública 2015; 49:36

DUPONT, FilmTec™ Reverse Osmosis Membranes Technical Manual, 2020

FDA - U.S. Food and Drug Administration. Novel Drug Approvals for 2017. (2017) Disponível em <https://www.fda.gov/Drugs/DevelopmentApprovalProcess/DrugInnovation/ucm537040.htm>. Acesso em 25/05/2018

GARCÍA-IVARS, J.; MARTELLA, L.; MASSELLA, M.; CARBONELL ALCAINA, C.; ALCAINA-MIRANDA, MI.; IBORRA CLAR, MI. (2017). Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants. Water Research. 125:360-373. doi:10.1016/j.watres.2017.08.070

GE, S., FENG, L., ZHANG, L., XU, Q., YANG, Y., WANG, Z., & KIM, K. (2017). Rejection rate and mechanisms of drugs in drinking water by nanofiltration technology. Environmental Engineering Research, 22, 329-338.

GUEDES, Camila Delanesi. A presença de fármacos nos esgotos domésticos e sua remoção pelos processos de lodo ativado com oxigênio puro, lagoa aerada e reator anaeróbio de fluxo ascendente. 2017. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.6.2017.tde-27112017-141635. Acesso em: 2021-05-05.

HEBERER, T, Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water, 2002. Journal of Hydrology, Volume 266, Issues 3–4, 139-284

IDE, AH, CARDOSO, FD, SANTOS, MM, KRAMER, RD, AZEVEDO, JCR, MIZUKAWA, A, Utilização da cafeína como indicador de contaminação por esgotos domésticos na Bacia do Alto Iguaçu, Revista Brasileira de Recursos Hídricos 18 (2), 201-211, 2013

JIAN-JUN QIN, MAUNG HTUN OO, HSIAOWAN LEE, BRUNO CONIGLIO, Effect of feed pH on permeate pH and ion rejection under acidic conditions in NF process, Journal of Membrane Science, Volume 232, Issues 1–2, 2004, Pages 153-159,

JORDÃO, E. P., PESSOA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6. Ed. Rio de Janeiro, ABES, 2011

KIRAN DHANGAR, MANISH KUMAR, Tricks and tracks in removal of emerging contaminants from the wastewater through hybrid treatment systems: A review, Science of The Total Environment, Volume 738, 2020, 140320, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140320>.

KUMAR, RINKU & KUMAR, PRADEEP. (2020). Wastewater Stabilisation Ponds: Removal of Emerging Contaminants. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. N/A. 10.13044/j.sdewes.d7.0291.

LANÇAS, F.M. A Cromatografia Líquida Moderna e a Espectrometria de Massas: finalmente “compatíveis”? Scientia Chromatographica 2009; 1(2): 35-61.

MAVUKKANDY, MUSTHAFA & CHABIB, CHAHD & MUSTAFA, IBRAHIM & AL GHAFERI, AMAL & ALMARZOOQI, FAISAL. (2019). Brine management in desalination industry: From waste to resources generation. Desalination. 472. 10.1016/j.desal.2019.114187.

METCALF & EDDY, Inc. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Boston :McGraw-Hill, 2003

MIÈGE C, CHOUBERT JM, RIBEIRO L, EUSÈBE M, COQUERY M. Fate of pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment plants-- conception of a database and first results. Environ Pollut. 2009 May;157(5):1721-6. doi: 10.1016/j.envpol.2008.11.045. Epub 2009 Feb 6. PMID: 19201071

MISTURA, CLÓVIA & LOPES, ALESSANDRO. (2011). DEGRADAÇÃO DE FLUOXETINA ATRAVÉS DE POAs (Fenton e Fotocatálise heterogênea). 10.13140/RG.2.2.32618.52162.

NARBAITZ R.M., RANA D., DANG H.T., MORRISSETTE J., MATSUURA T., JASIM S.Y., TABE S., YANG P., Pharmaceutical and personal care products removal from drinking water by modified cellulose acetate membrane: field testing, Chem. Eng. J., 225 (2013), pp. 848-856
NATIONAL ASSOCIATION OF CLEAN WATER AGENCIES (NACWA).
Report: Pharmaceuticals in the Water Environment, 2010

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PUBCHEM DATABASE. Ibuprofen, CID=3672, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ibuprofen> (acessado em 04 de janeiro de 2020)

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PUBCHEM DATABASE. Acetaminophen, CID=1983, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetaminophen> (acessado em 04 de janeiro de 2020)

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PUBCHEM DATABASE. Atenolol, CID=2249, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Atenolol> (acessado em 04 de janeiro de 2020)

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PUBCHEM DATABASE. Simvastatin, CID=54454, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Simvastatin> (acessado em 04 de janeiro de 2020)

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PUBCHEM DATABASE. Carbamazepine, CID=2554, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Carbamazepine> (acessado em 04 de janeiro de 2020)

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PUBCHEM DATABASE. Clonazepam, CID=2802, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Clonazepam> (acessado em 04 de janeiro de 2020)

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PUBCHEM DATABASE. Caffeine, CID=2519, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Caffeine> (acessado em 04 de janeiro de 2020)

NEDER, T. F., Dimensionamento e Estimativa de Custos de Sistema de Ultrafiltração como alternativa à Etapa de Flotação por Ar Dissolvido da ETEB Norte, Monografia de Projeto Final II em Engenharia Ambiental, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília/DF: Dezembro – 2020

ONU – Organização das Nações Unidas. 17 Objetivos Para Transformar Nosso Mundo (2015). Disponível em <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em 25/05/2018

SAAVEDRA DEL AGUILA, Nora Katia. Avaliação de bactérias fototróficas em lagoas de estabilização: diversidade, purificação e identificação. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007

SIMÕES, C.P.P. (2016) Avaliação operacional e remoção de bisfenol-A no tratamento de água por diferentes tipos de membranas: avaliação em escala piloto. 184p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília

SIMON, A., PRICE, W., & NGHIEM, L. (2013). Influence of formulated chemical cleaning reagents on the surface properties and separation efficiency of nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 432, 73-82.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO - SNIS (BRASIL). DIAGNÓSTICO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO - 201 BRASÍLIA: SNIS, 2016.

SOUSA, T. A. T. de. Pós-tratamento de efluente anaeróbio em lagoa de polimento. 2015. 80f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

VIENO N.M., T. Tuhkanen, L. Kronberg Analysis of neutral and basic pharmaceuticals in sewage treatment plants and in recipient rivers using solid phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry detection *J. Chromatogr. A*, 1134 (2006), pp. 101-111

VON SPERLING, M. (1996). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Princípios básicos do tratamento de esgotos, v. 2. Belo Horizonte (MG), DESA/UFMG. 211 p

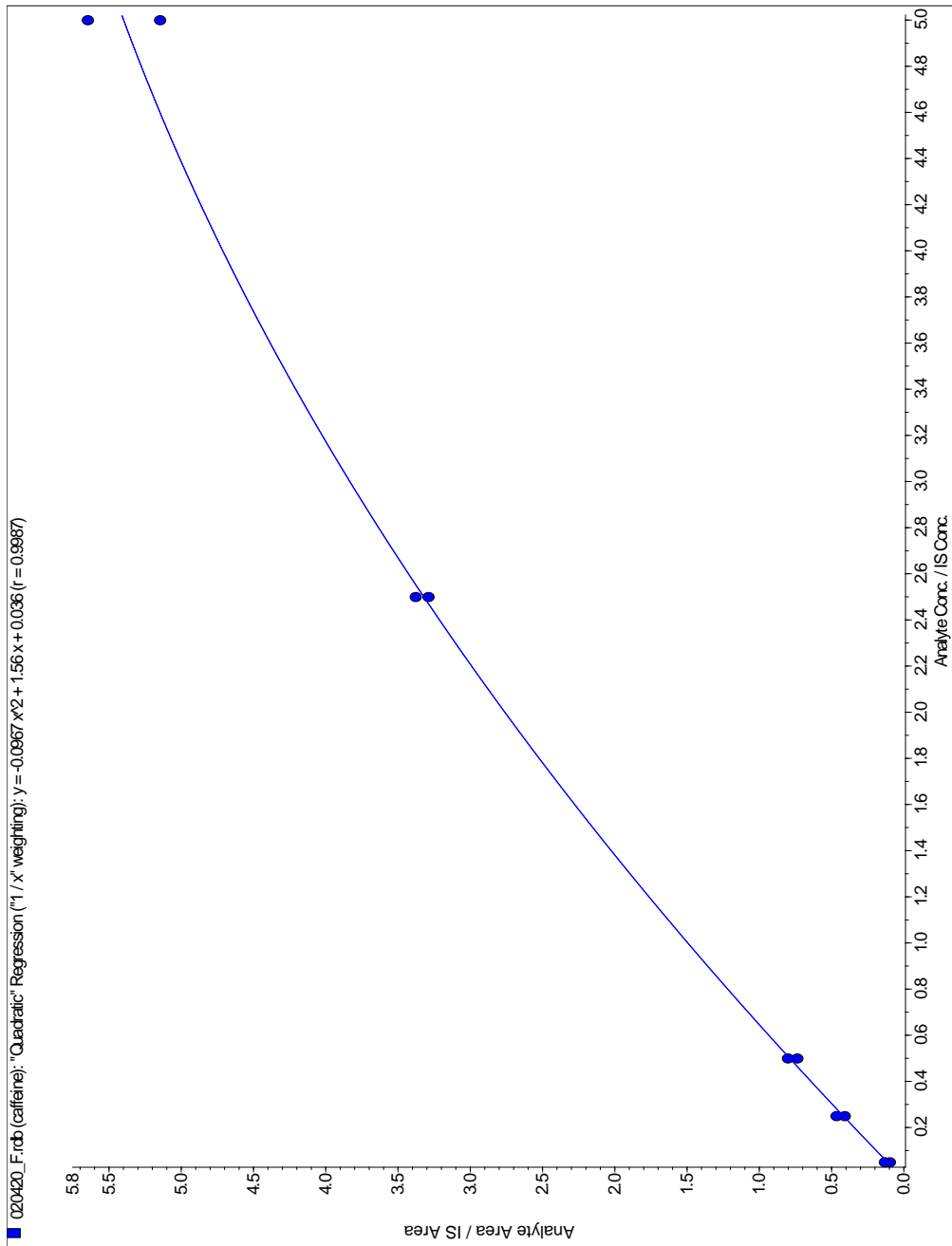
VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. 3. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996

VON SPERLING, Marcos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados, v.04. Minas Gerais: ABES, 1997

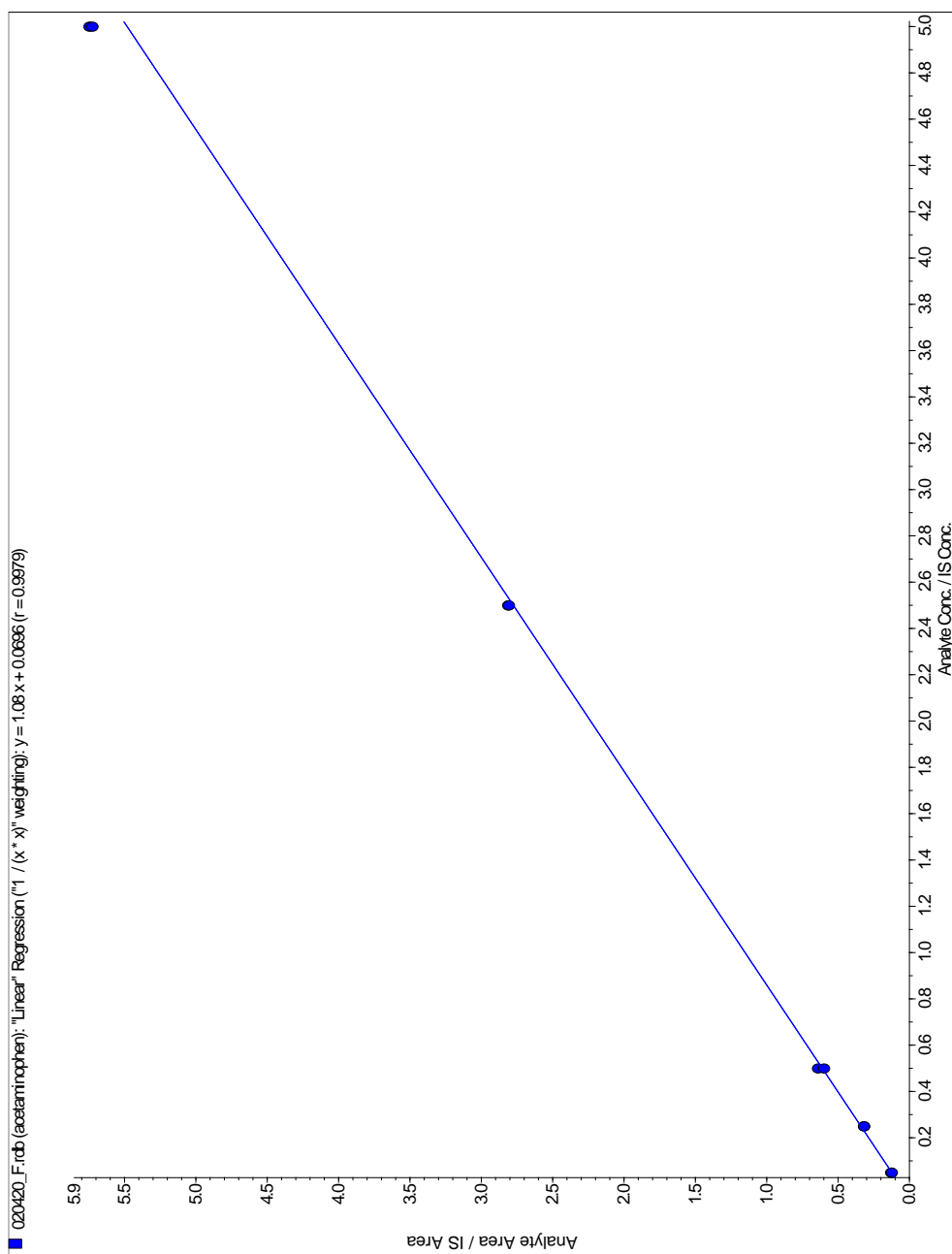
WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO, 2011. Pharmaceuticals in Drinking-water

Apêndice A – Curvas de calibração com padrões de fármacos

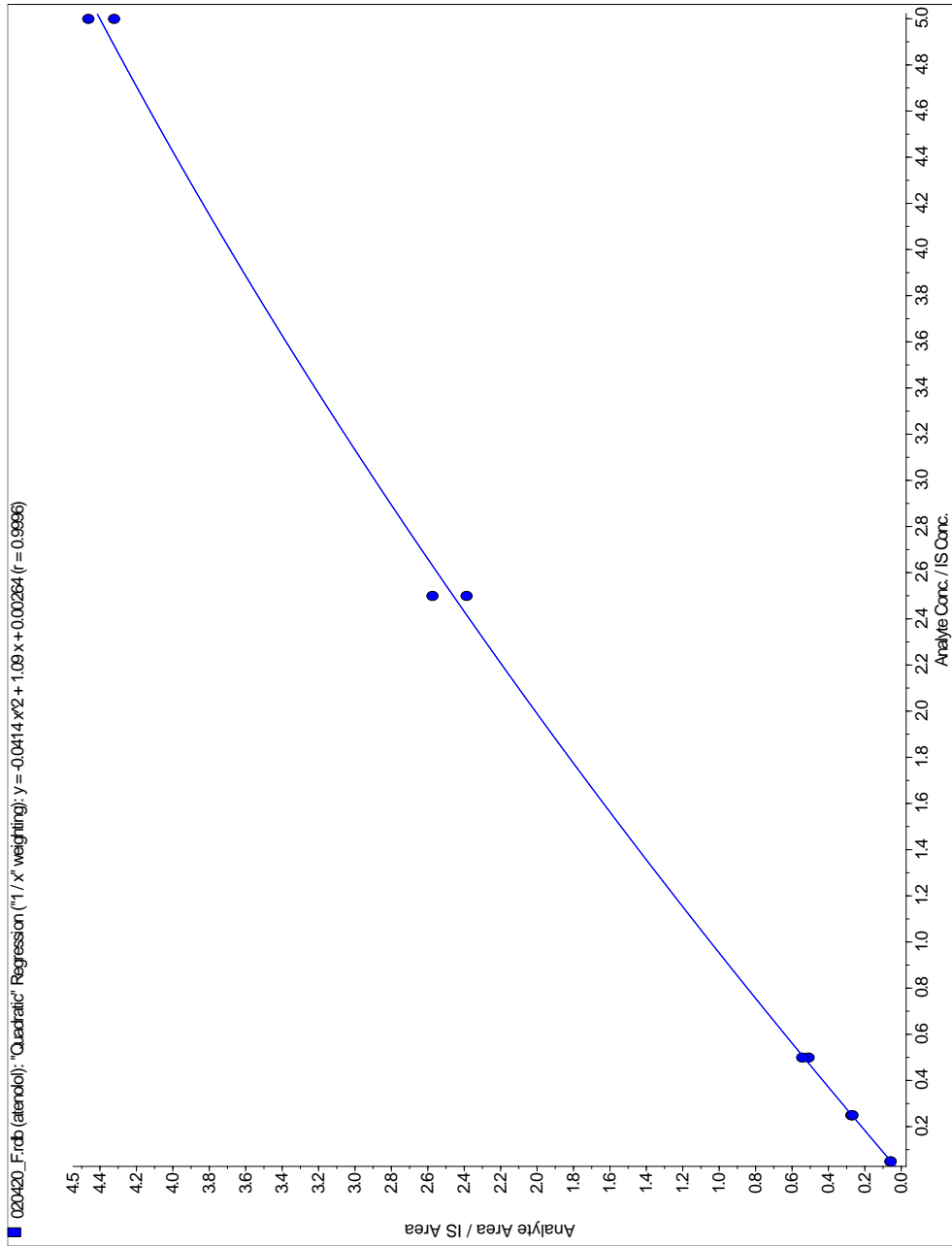
○ Cafeína (regressão quadrática, r = 0,9987)



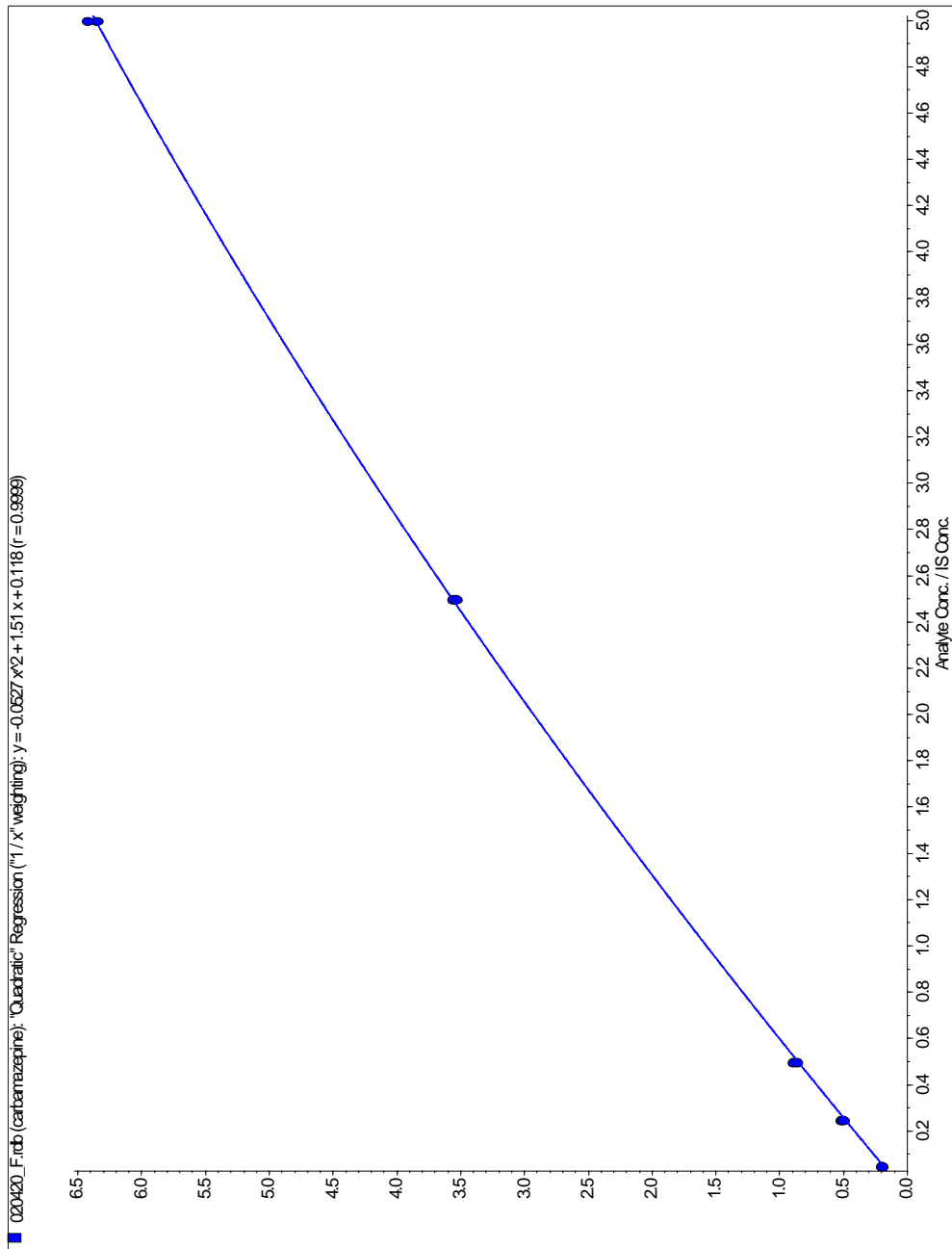
- Paracetamol (regressão linear, $r = 0,9979$)



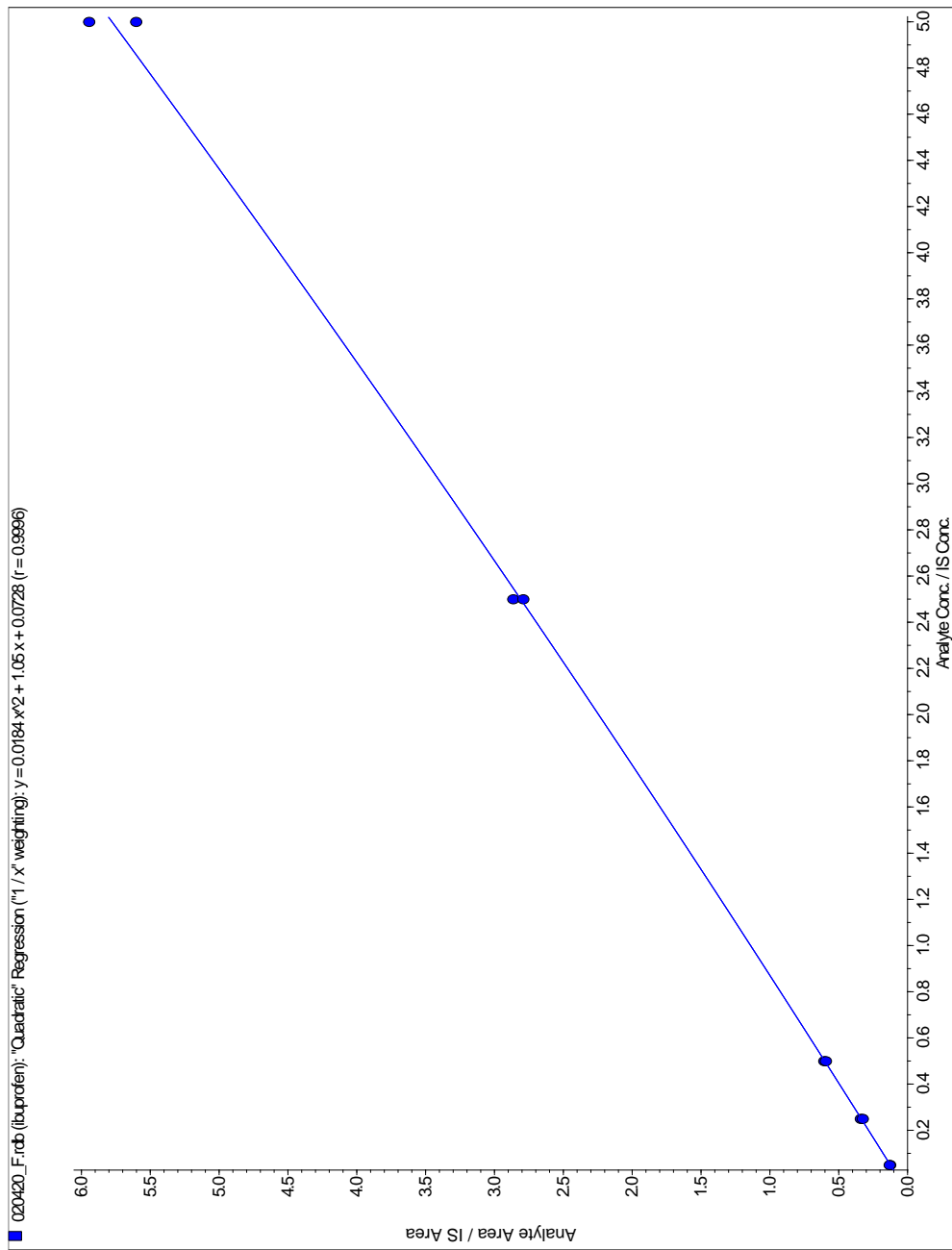
- Atenolol (regressão quadrática, $r = 0,9996$)



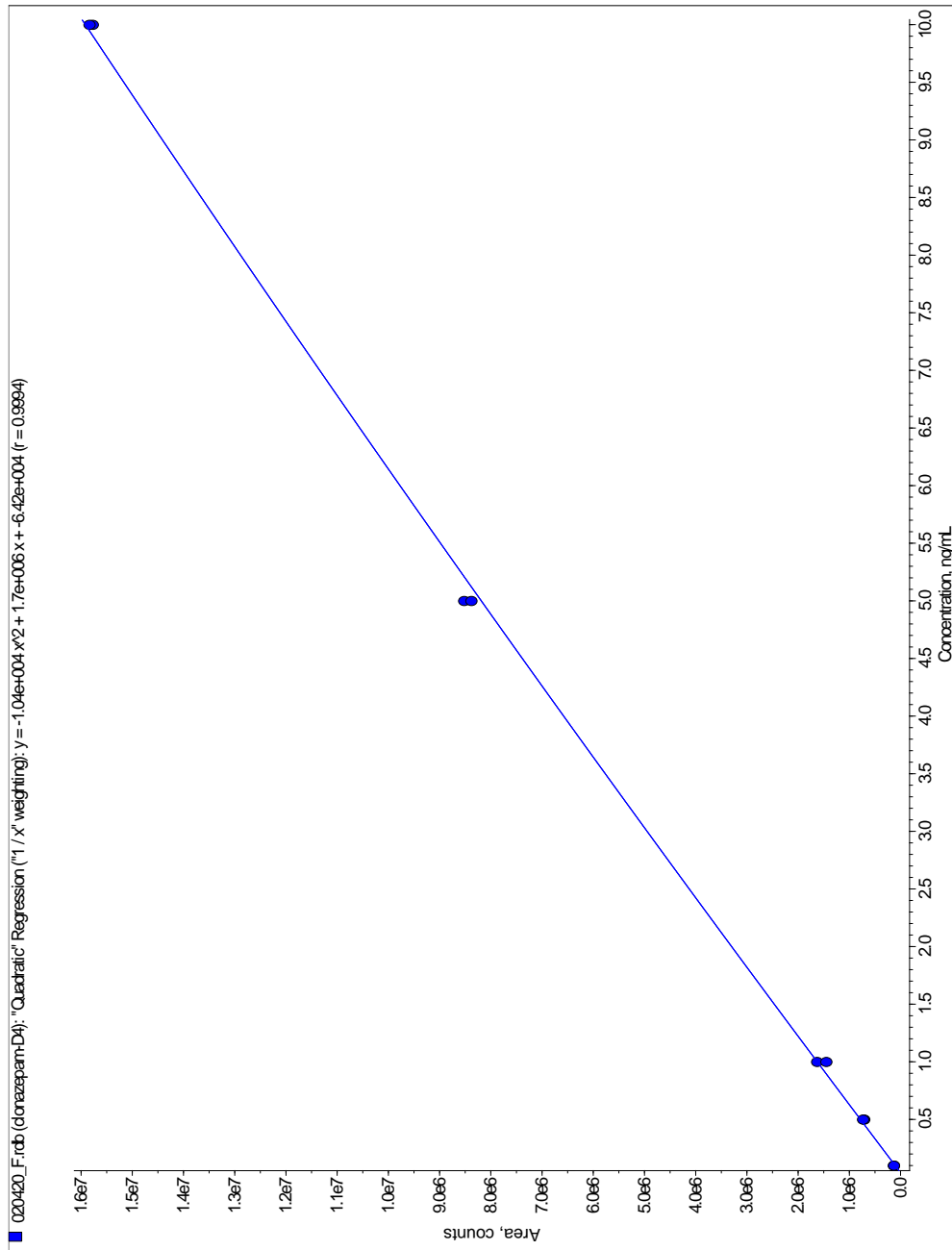
- Carbamazepina (regressão quadrática, $r = 0,9999$)



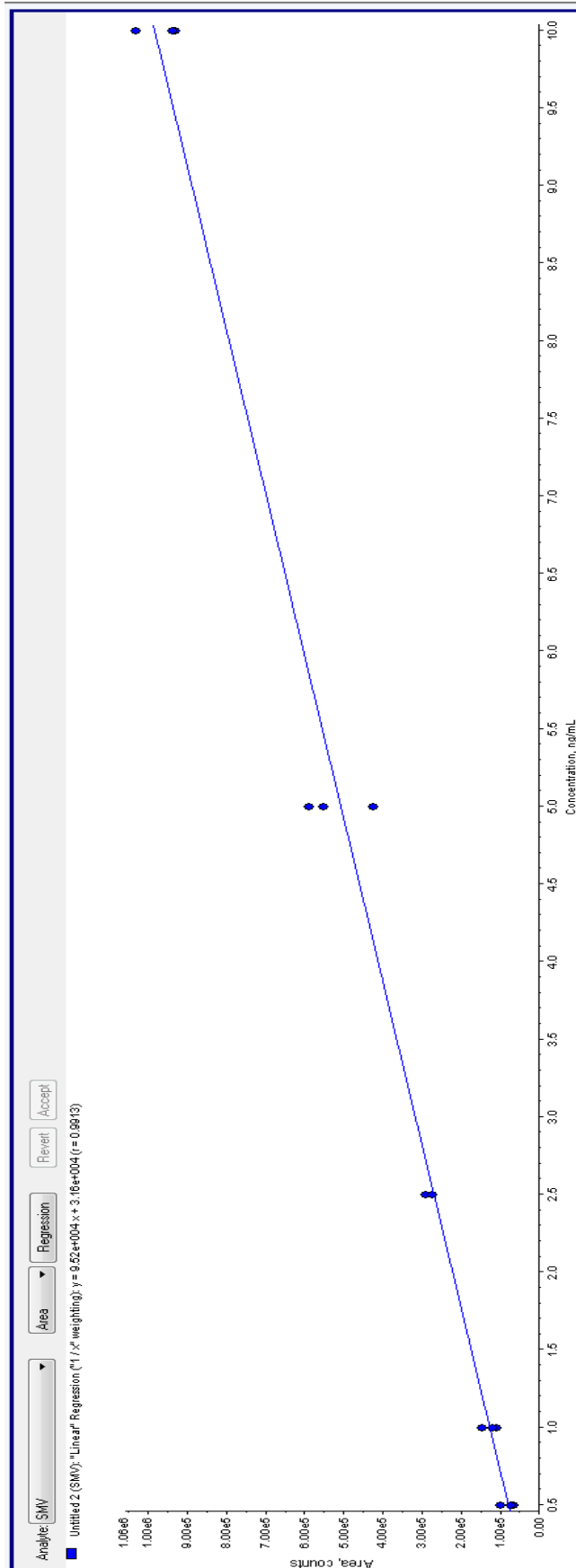
- Ibuprofeno (regressão quadrática, $r = 0,9996$)



- Clonazepam-D4 (regressão quadrática, $r = 0,9994$)

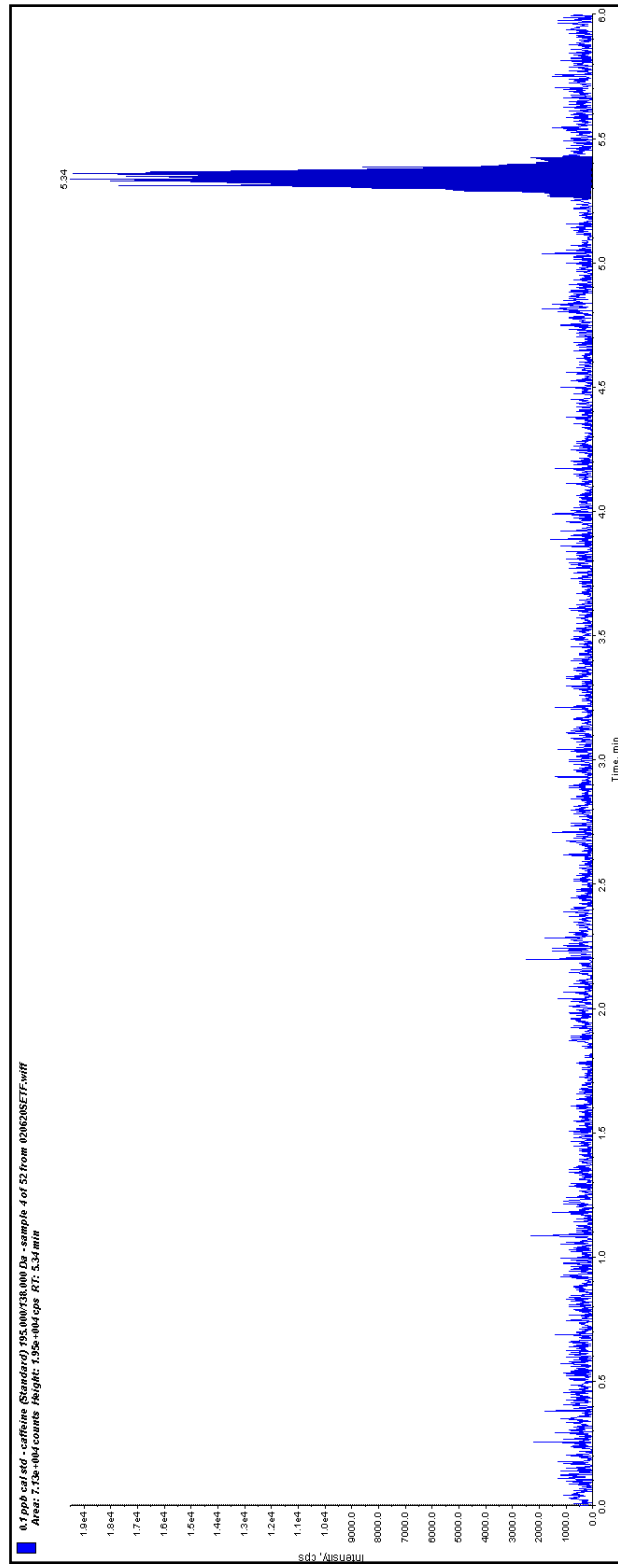


- Sinvastatina (regressão linear, $r = 0,9913$)

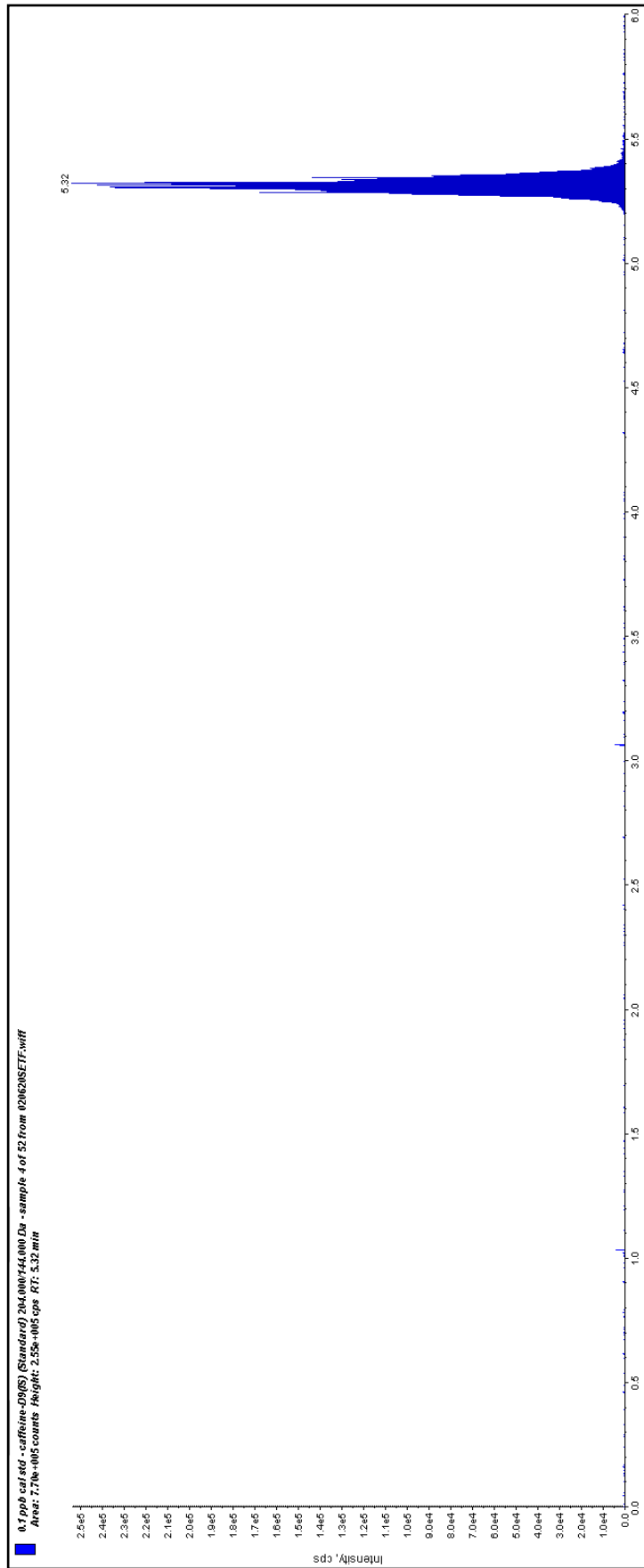


**Apêndice B -
Cromatogramas
dos padrões
analíticos e
internos dos
fármacos**

○ Cafeína

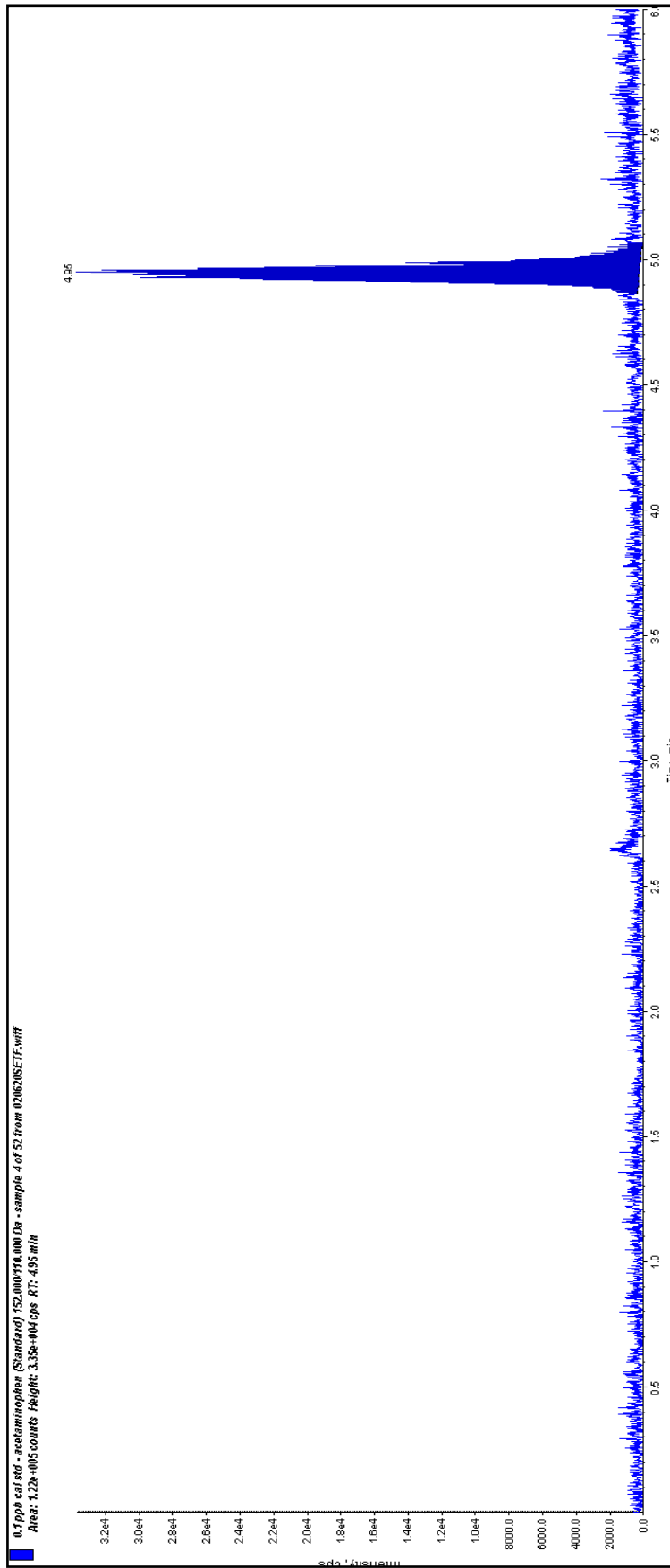


0,1 ppb padrão de calibração; Transição SRM $m/z = 195 > 138$

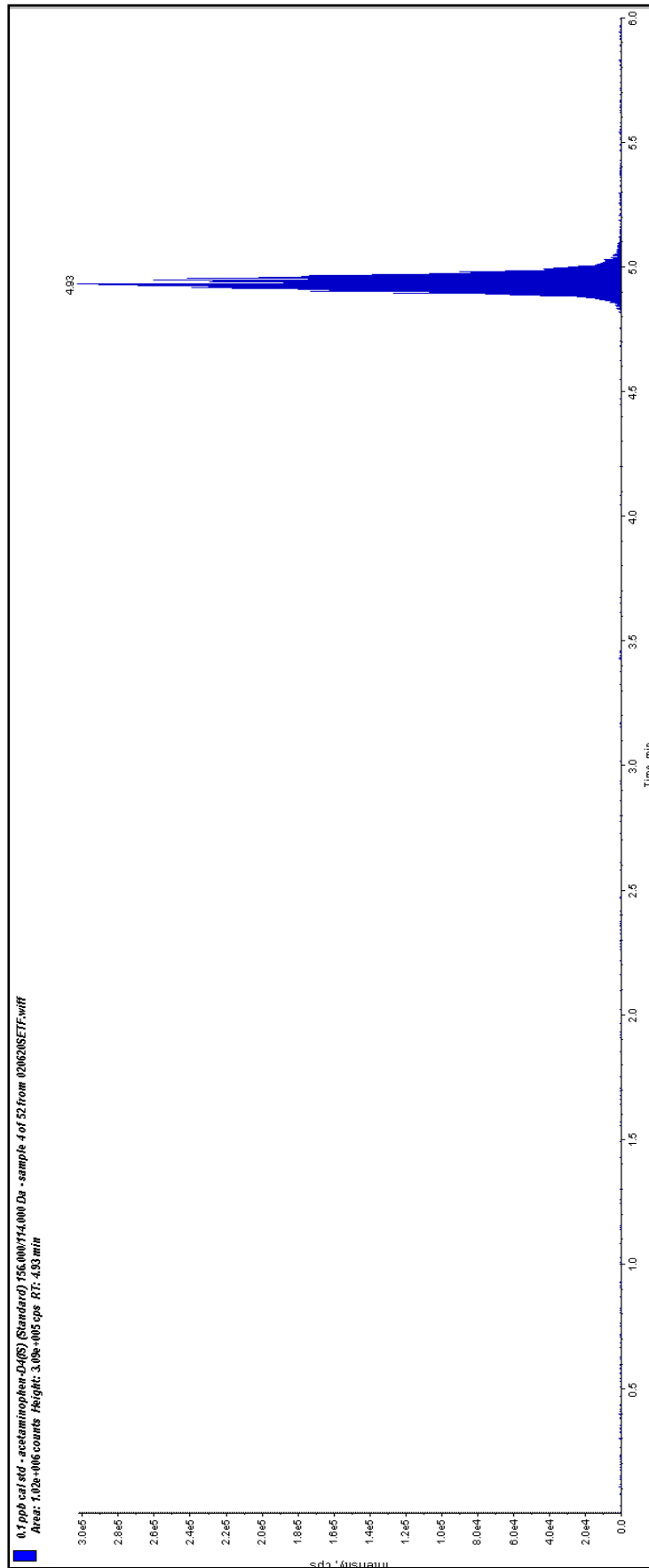


2,0 ppb padrão interno; Transição SRM m/z = 204>144

○ Paracetamol

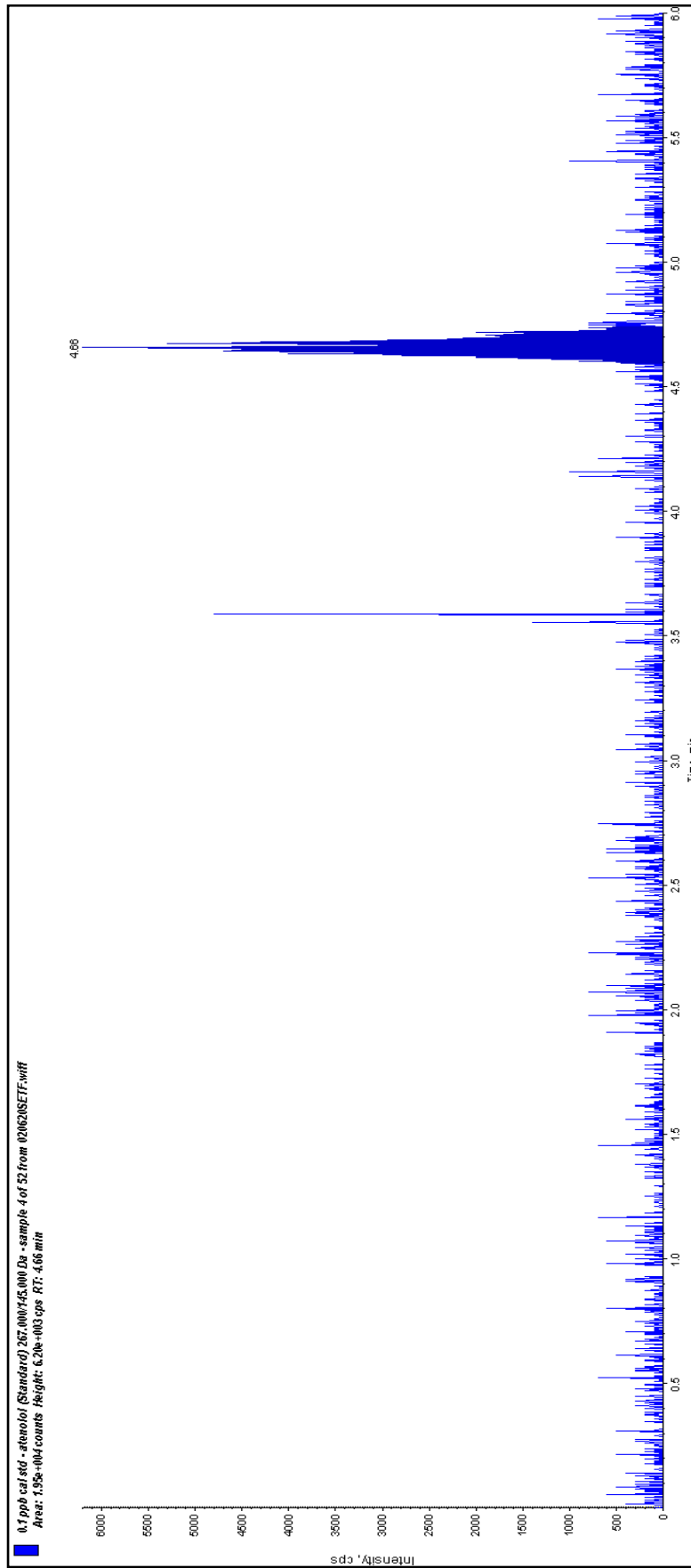


0,1 ppb padrão de calibração; Transição SRM m/z = 152>110

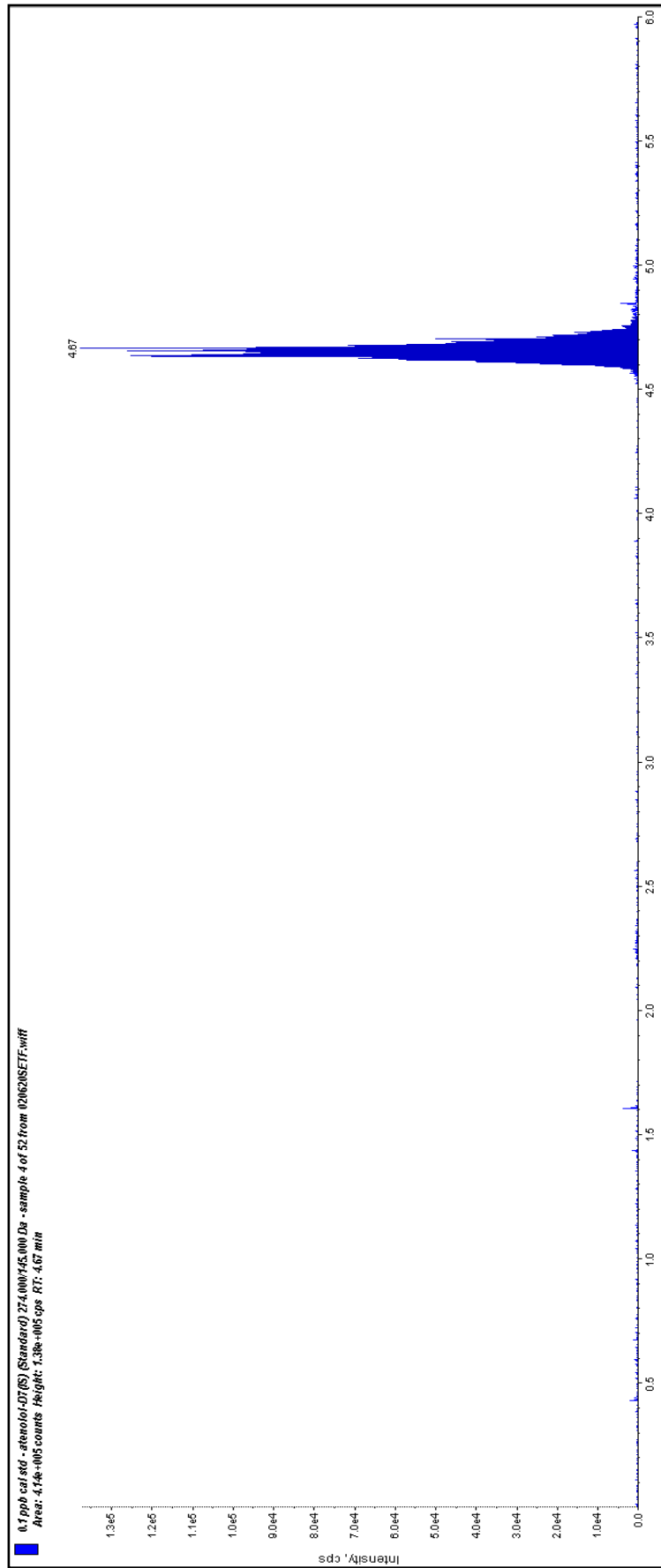


2 ppb padrão interno; Transição SRM m/z = 156>114

○ Atenolol

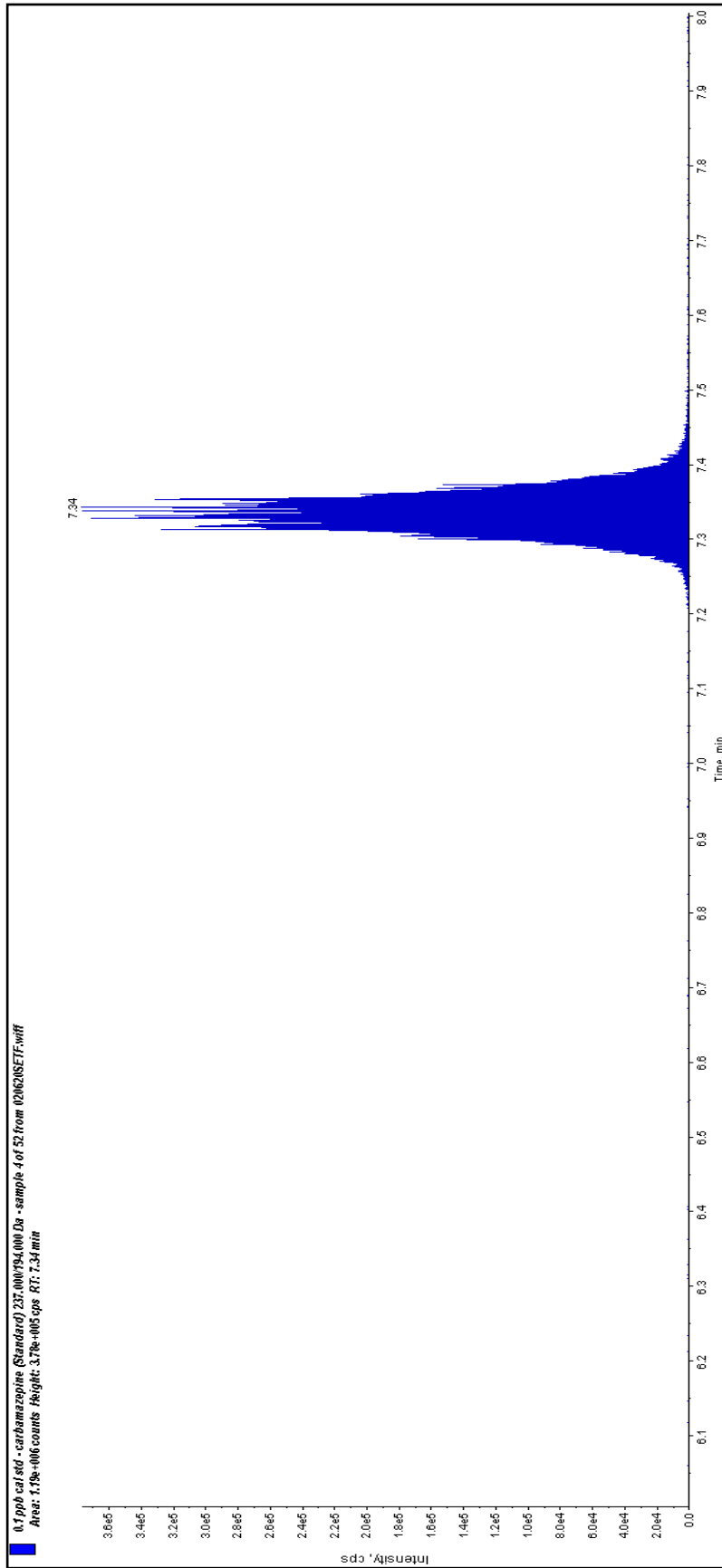


0,1 ppb padrão de calibração; Transição SRM m/z = 267>145

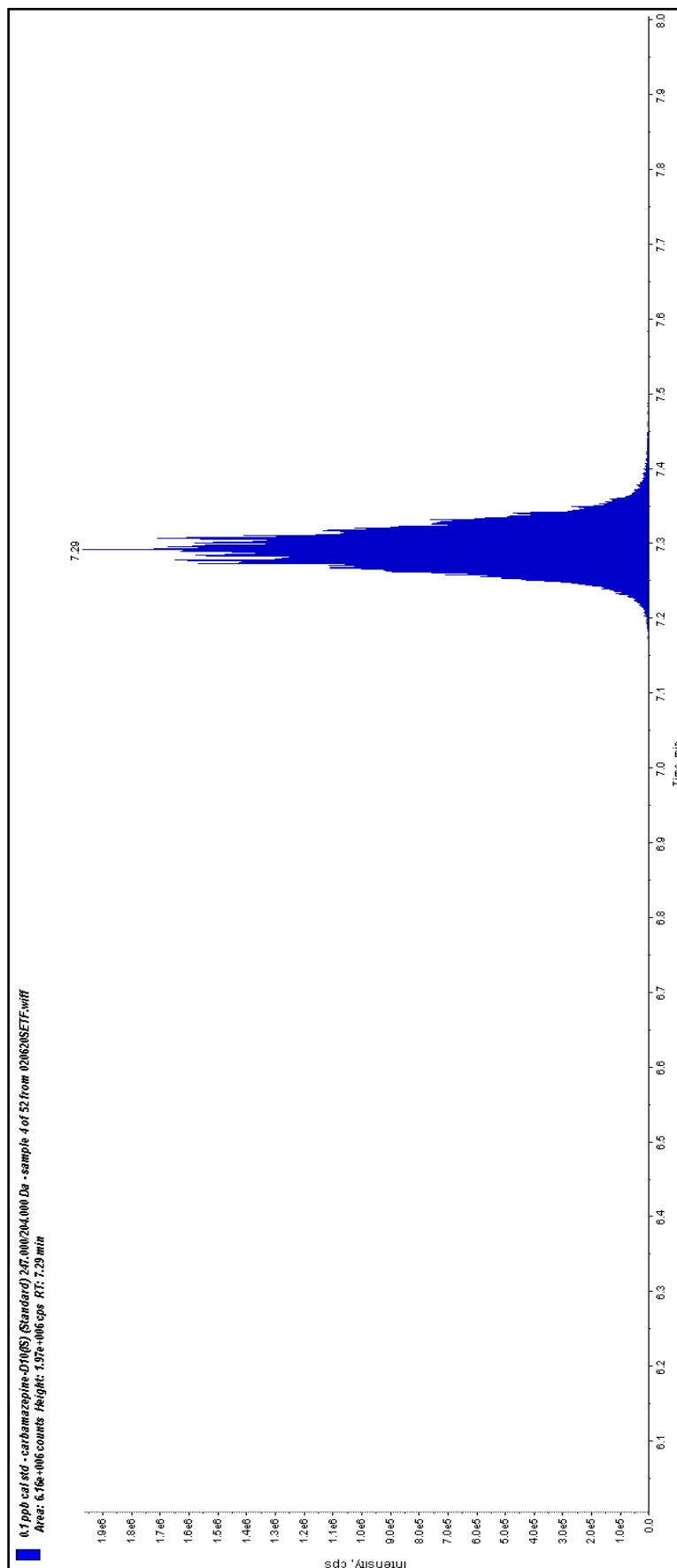


2 ppb padrão interno; Transição SRM m/z = 274>145

○ Carbamazepina

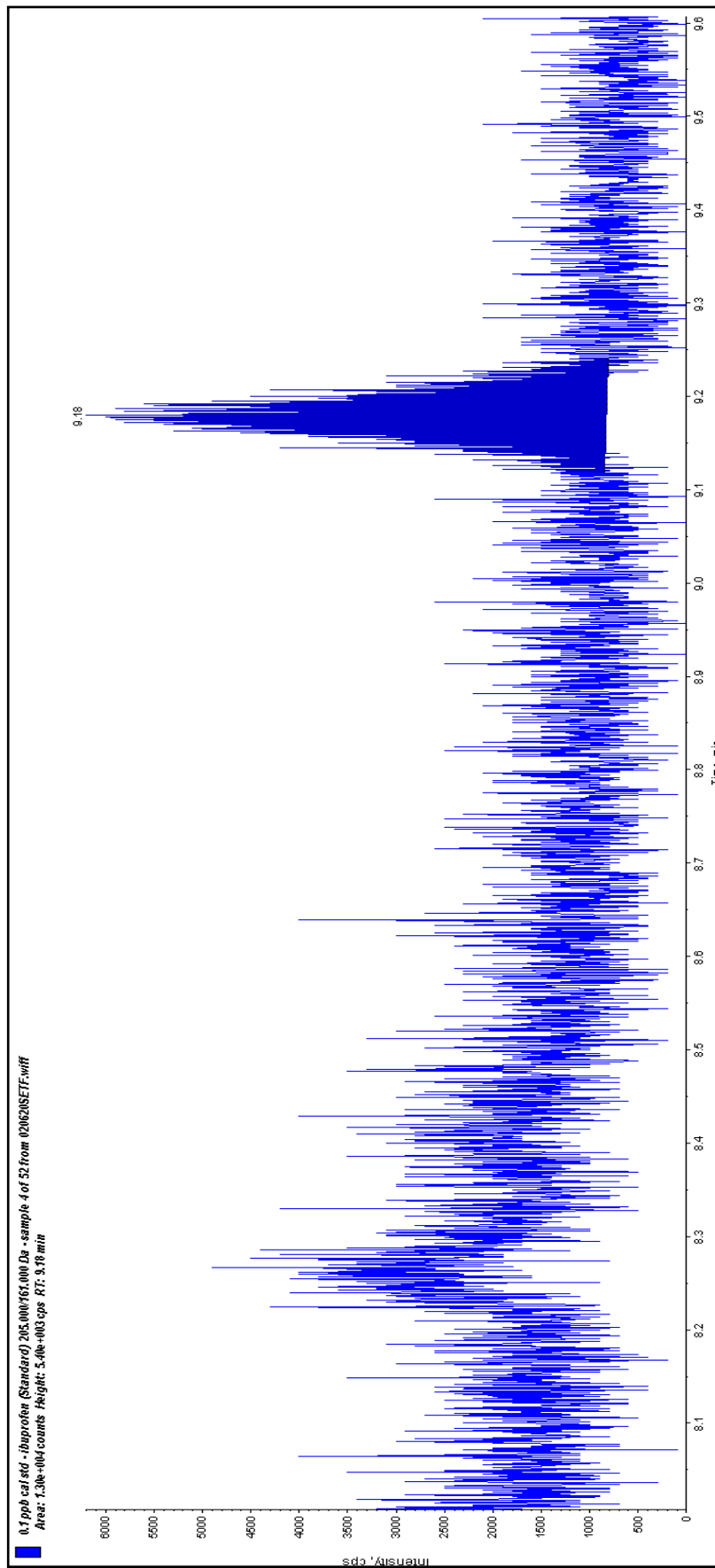


0,1 ppb padrão de calibração; Transição SRM m/z = 237>194

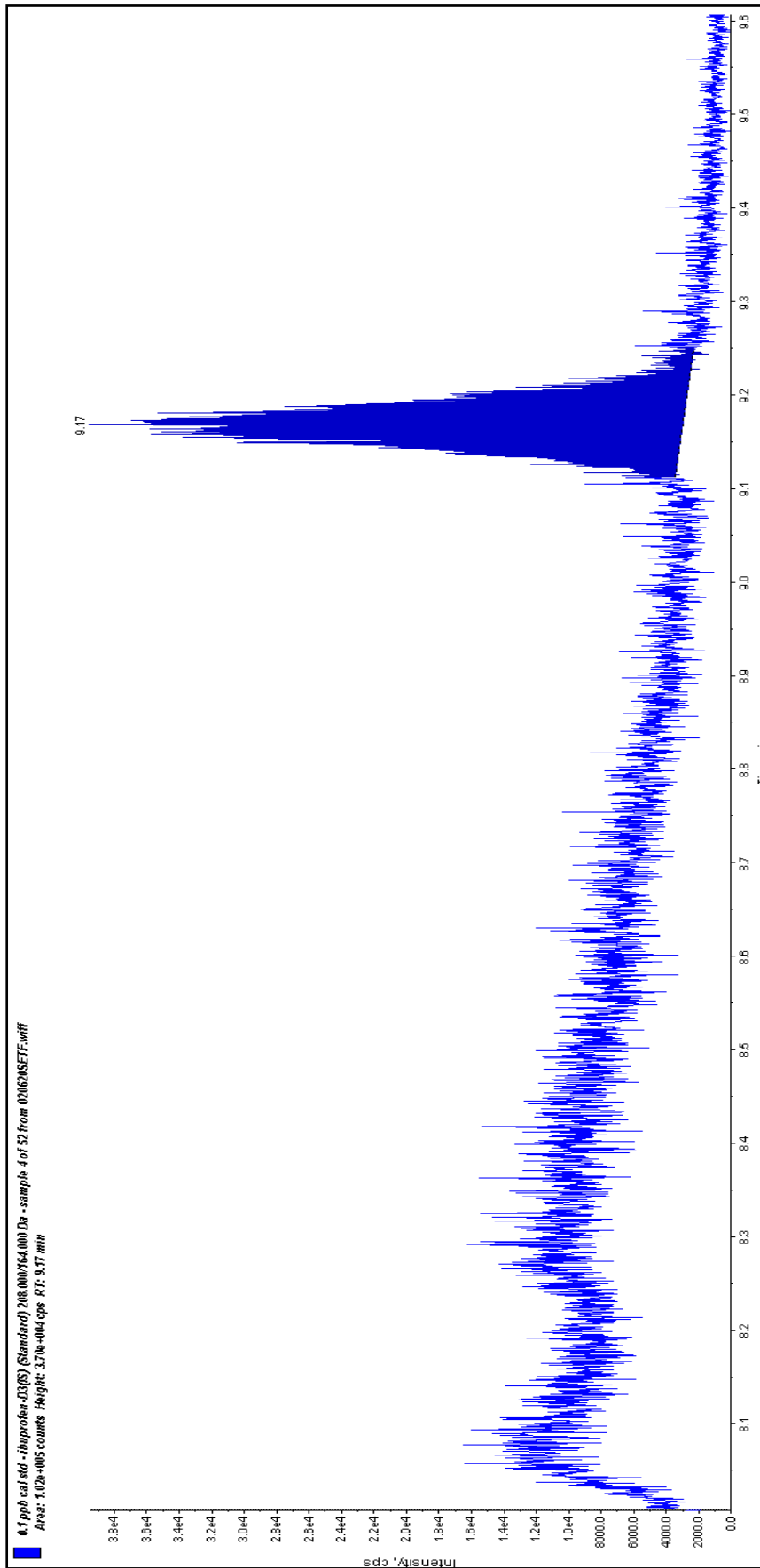


2 ppb padrão interno; Transição SRM m/z = 247>204

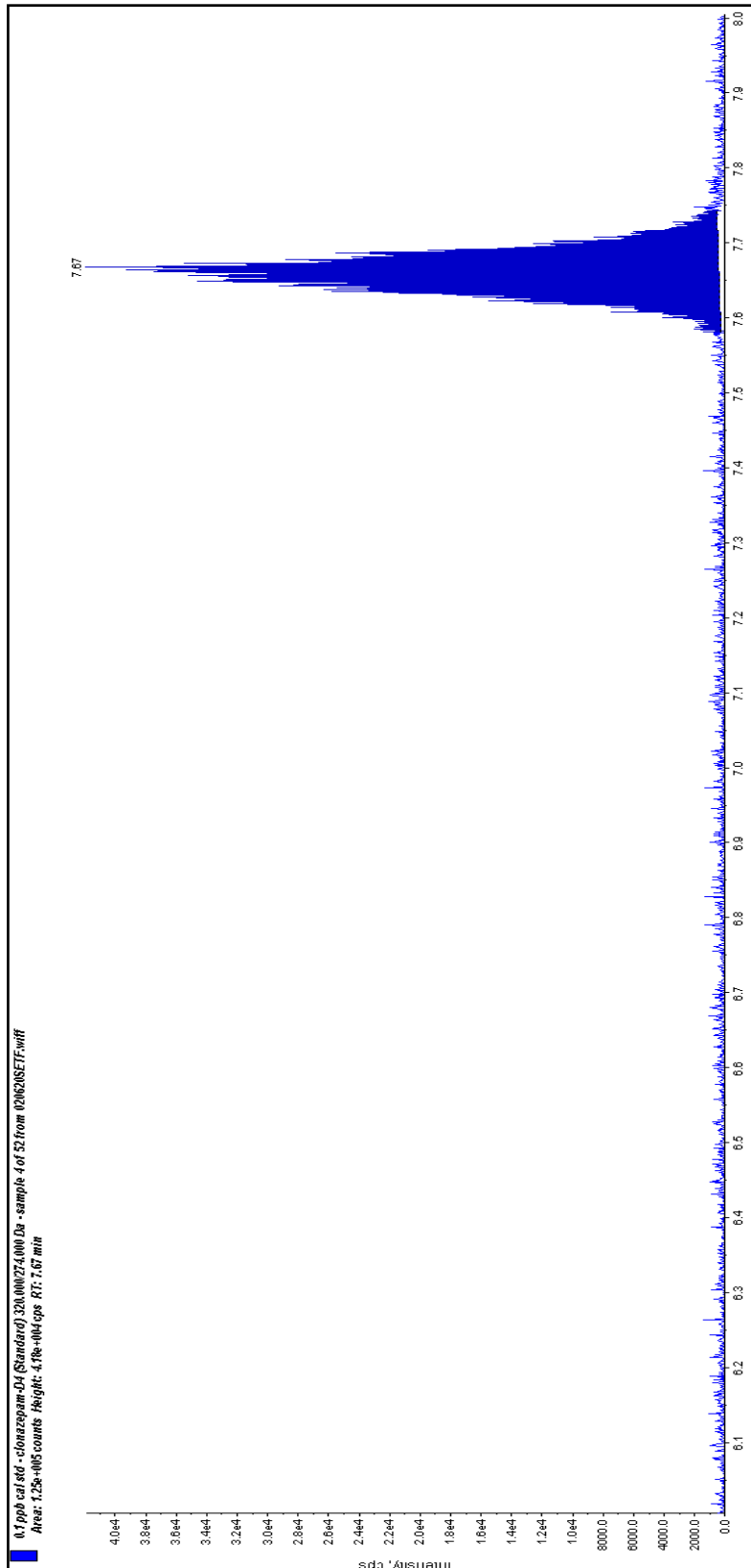
- Ibuprofeno:



0,1 ppb padrão de calibração; Transição SRM $m/z = 205 > 161$



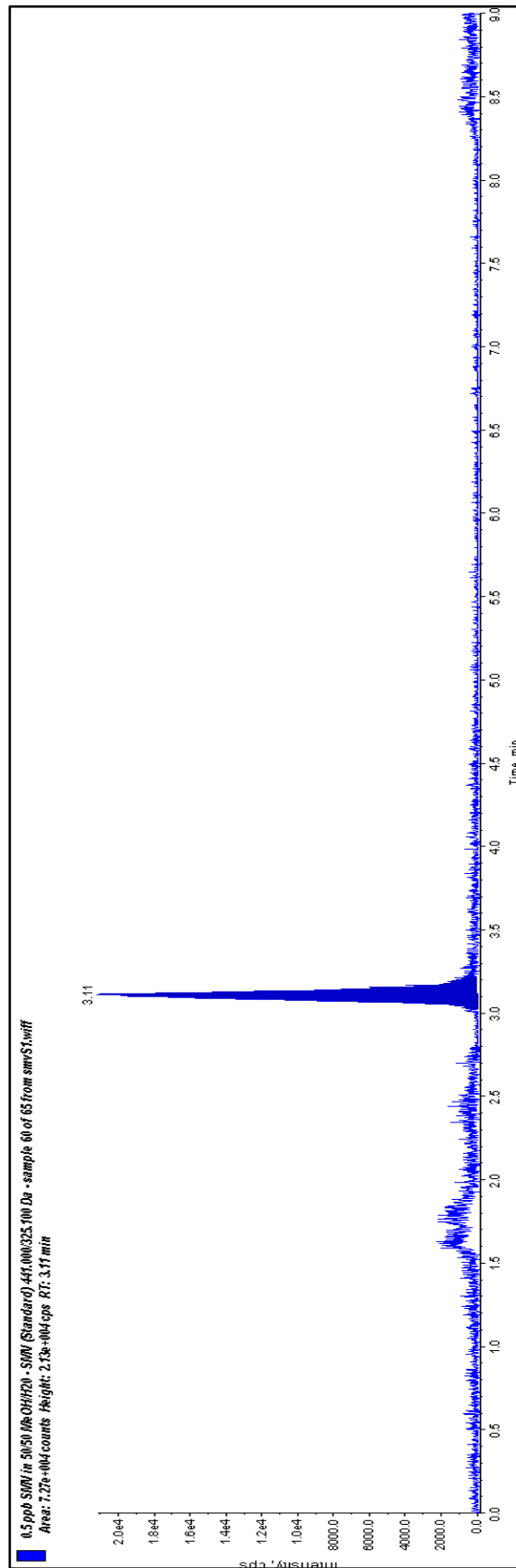
2 ppb padrão interno; Transição SRM m/z = 208>164
 ○ Clonazepam:



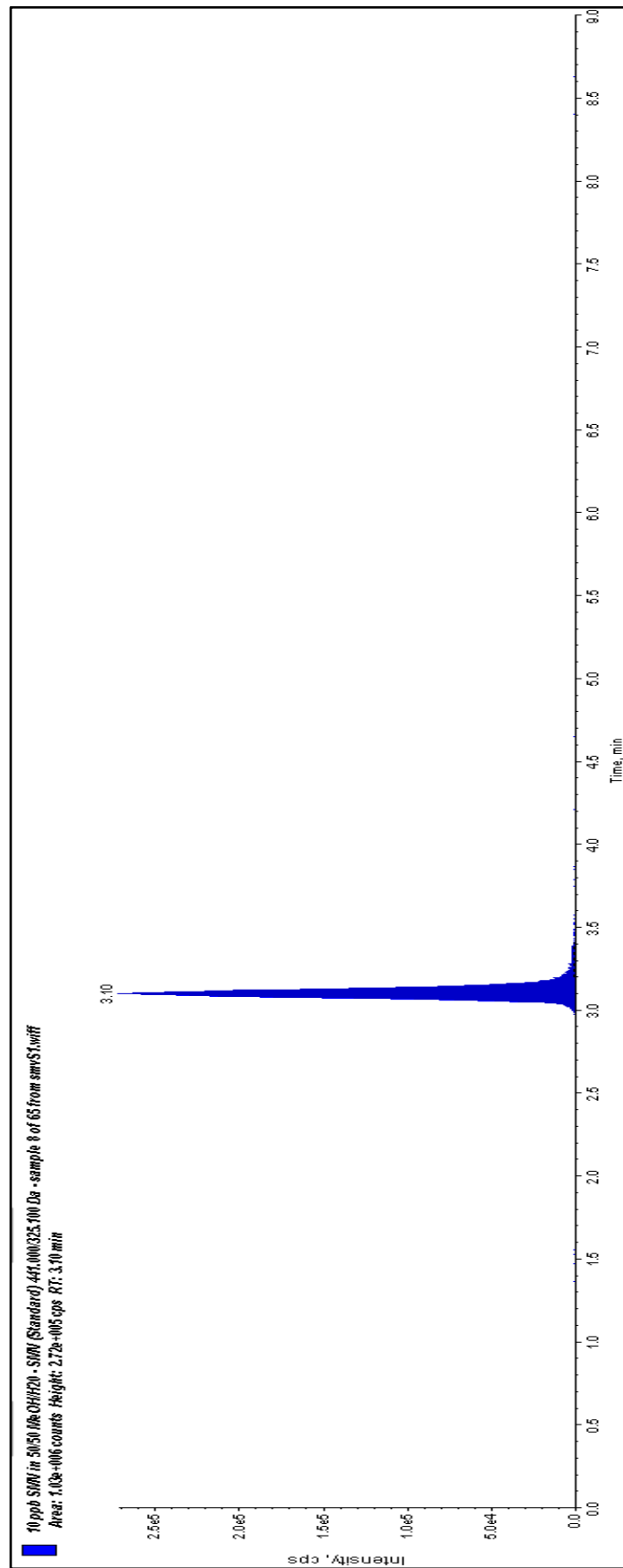
0,1 ppb padrão de calibração; Transição SEM $m/z = 320 > 274$.

Observação: Como o padrão de clonazepam não estava disponível, o clonazepam-D4 foi usado para derivar a curva de calibração para clonazepam monitorado na transição SRM $m/z = 316 > 270$.

- Sinvastatina:



Sinvastatina: 0.5 ppb padrão de calibração; Transição SEM m/z 441>325



Sinvastatina: 10 ppb padrão de calibração; Transição SEM m/z 441>325

Apêndice C – Projeções com software WAVE



WATER APPLICATION VALUE ENGINE
WATER SOLUTIONS

WAVE Program Version: 1.82.824

Calculation Engine Version: 01.12.04.00

Database Version: 27



Project Name: Master - ETE + UF/NF - UF/RO

Case Name: ETE BN

Customer:

Prepared by: Fabio de CARvalho

Company: DuPont

Country:

Date Created: May 06, 2021

Project Notes:

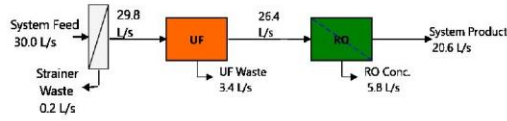
Case #: 1 of: 1

Case Notes: Case 1

Keywords:

Additional Feed Water Information

Stream 1: Sódio e cloreto adicionados para uma condutividade de 496 uS/cm



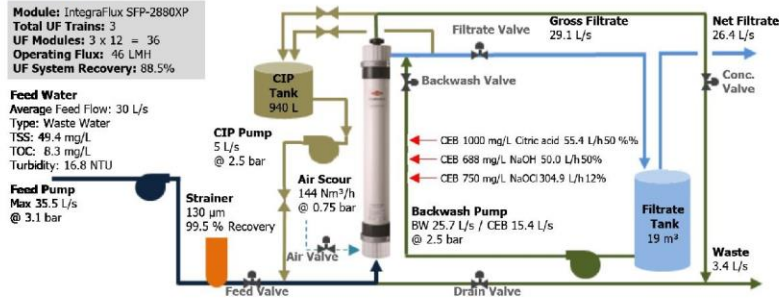
		Strainer	Ultrafiltration	Reverse Osmosis
Feed	Flow Rate (L/s)	30.0	29.8	26.4
	TDS (mg/L)	345.4 ^b	345.4 ^b	309.6 ^a
	pH	6.7	6.7	6.7
	Pressure (bar)	1.3	1.3	3.9
	Temperature (°C)	25.0	25.0	25.0
Product	Flow Rate (L/s)	29.8	26.4	20.6
	TDS (mg/L)	345.4 ^b	345.4 ^b	204.4 ^a
	pH	6.7	6.7	6.5
	Recovery	99.5 %	88.45 %	78.0 %
	Operating Costs (\$/h)	-	12.0	18.5
	Specific Energy (kWh/m ³)	-	0.07	0.17
System	Operating Cost (\$/m ³)	-	0.127	0.250
	Specific Energy (kWh/m ³)	0.26		
	Operating Cost (\$/m ³)	1.48		
	Feed Flow Rate (L/s)	30.0		
	Product Flow Rate (L/s)	20.6		
Recovery	68.7 %			

Footnotes:

^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂

^bTotal Dissolved Solutes includes ions, SiO₂, B(OH)₃, NH₃ and CO₂ as H₂CO₃

UF Detailed Report



UF System Overview

Module Type	IntegraFlux SFP-2880XP		
# Trains	Online =	3	Standby = 0
			Redundant = 0
# Modules	Per Train =	12	Total = 36
System Flow Rate (L/s)	Gross Feed =	30.0	Net Product = 26.4
Train Flow Rate (L/s)	Gross Feed =	10.0	Net Product = 8.8
UF System Recovery (%)	88.45		
TMP (bar)	0.27 @ 23.0 °C		0.26 @ 25.0 °C
Utility Water	Forward Flush:	Pretreated water	Backwash: UF filtrate water
	CEB Water Source:	UF filtrate water	CIP Water Source: UF filtrate water

UF Operating Conditions

	Duration	Interval	Flux/Flow
Filtration:	25.0 min	29.2 min	-
Instantaneous			
3 Online Trains			46 LMH
3 Total Trains			46 LMH
Average			38 LMH
Net			34 LMH
Backwash	4.2 min	29.2 min	100 LMH
Acid CEB	17.6 min	12 h	60 LMH
Alkali CEB	17.6 min	24 h	60 LMH
CIP	313.4 min	30 d	0.42 L/s
Membrane Integrity Testing	12.0 min	24 h	-



UF Water Quality

Stream Name		Stream 1	
Water Type		Waste Water (23.0 - 30.0 °C)	
		Feed	Expected UF Product Water Quality
Temperature	(°C)	25.0	25.0
Turbidity	(NTU)	16.8	≤ 0.1
TSS	(mg/L)	49.4	-
Organics (TOC)	(mg/L TOC)	8.3	7.5
TDS	(mg/L)	345	345
pH		6.7	6.7

UF Configuration Options

Standby Option:	Constant module flux, variable plant filtrate flow
Storage Tank Option:	Storage Tank sized to maintain constant net filtrate flow
Forward Flush Water Source:	Pretreated water
BW Water Source:	UF filtrate water
CEB Water Source:	UF filtrate water
CIP Water Source:	UF filtrate water

UF System Size and Module Details

Trains		Module Details		
		Name: IntegraFlux SFP-2880XP		
Online Trains	3	Membrane Area	77 m ²	829 ft ²
Standby Trains	0	Length	2.360 m	92.9 in
Redundant Trains	0	Diameter	0.225 m	8.9 in
Total Trains	3	Weight (empty)	61 kg	134 lb
Max Offline Trains	1	Weight (water filled)	100 kg	220 lb
Modules/Train	12	Water Volume	39.0 L	10.3 gal
Total Modules	36			



UF Flow Details

Stream		Maximum Flow ^a	Average Flow
Feed (Gross)	(L/s)	35.6	30.0
Feed Water Used for Pretreatment	(L/s)		0.2
Forward Flush & Process Streams	(L/s)		0.8
Feed (Net)	(L/s)	35.4	29.1
Filtrate (Gross)	(L/s)	35.4	29.1
Filtrate Used for Cleaning	(L/s)		2.7
Filtrate (Net)	(L/s)		26.4
Air	(N m ³ /h)	144.0	4.2
Backwash (BW)	(L/s)	25.7	2.5
Forward Flush Flowrate	(L/s)	6.7	0.8
CEB 1 (Acid)	(L/s)	15.4	0.1
CEB 2 (Alkali and/or Oxidant)	(L/s)	15.4	0.0
CIP Recycle	(L/s)	5.0	0.0
CEB Citric acid (50 %) Metering Pump	(L/h)	55.4	
CEB NaOH (50%) Metering Pump	(L/h)	50.0	
CEB NaOCl(12%) Metering Pump	(L/h)	304.9	
CIP Citric acid (50 %) Metering Pump	(L/h)	362.9	
CIP NaOH (50%) Metering Pump	(L/h)	16.4	
CIP NaOCl(12%) Metering Pump	(L/h)	266.1	

Footnotes:

^a Maximum possible flow rate

UF Pump Hydraulics and Electrical Cost

Pump	Peak Flowrate (L/s)	Average Pressure (bar)	Mechanical Power (kW)	Electrical Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (\$/d)
Feed	35.55	1.26	3.76	5.11	122.75	11.05
Backwash	25.67	1.06	2.71	3.68	8.73	0.79
CEB	15.40	0.63	0.97	1.32	0.28	0.03
Citric acid (50 %) Metering Pump	0.02		0.00	0.00		
NaOH (50%) Metering Pump	0.01		0.00	0.00		
NaOCl(12%) Metering Pump	0.08		0.01	0.01		
CIP	5.04	2.50	1.26	1.71	0.32	0.03
Citric acid (50 %) Metering Pump	0.10		0.05	0.07		
NaOH (50%) Metering Pump	0.00		0.00	0.00		
NaOCl(12%) Metering Pump	0.07		0.02	0.03		
CIP Solution Heating				10.83	2.05	0.19
Air Compressor	40.00	0.75	2.46	5.35	13.41	1.21
Electrical Valves				0.00	0.00	0.00
PLC and Instrumentation				0.30	7.20	0.65
Total Electrical Cost					154.74	13.93

UF Pressure Ratings

Process	T (°C)	TMP ^a (bar)	Fouling Max ΔP (bar)	Piping ΔP (bar)	Filtrate Pres. (bar)	Feed Pres. ^b (bar)	Pres. Rating (bar)	OK? ^c
Filtration								
Minimum Temp.	23.0	0.27	0.00	0.52	0.50	1.29	6.10	✓
Design Temp.	25.0	0.26	0.00	0.50	0.50	1.26	6.00	✓
Maximum Temp.	30.0	0.23	0.00	0.45	0.50	1.18	5.75	✓
BW	25.0	0.56	0.00	0.50		1.06	6.00	✓
CEB	25.0	0.33	0.00	0.30		0.63	6.00	✓
CIP	35.0			2.50		2.50	5.25	✓

Footnotes:

^a At actual, average flux

^b Sum of TMP, fouling ΔP, piping ΔP and filtrate pressure. Does not include pressure drop at the strainer. Pressure drops are based on user inputs. Default values should not be used for pump sizing

^c Comparison of Feed Pressure to Pressure Rating—a conservative comparison due to piping losses between the feed pump and module inlet.

UF Utility and Chemical Costs
Service Water

	Average Flowrate (L/s)	Unit Cost (\$/m ³)	Hourly Cost (\$/h)	Daily Cost (\$/d)
Non-Product Feed Water	3.45	0.1400	1.74	41.69
Waste Water Disposal	3.45	0.6900	8.56	205.46
Total Service Water Cost				247.15

Electricity

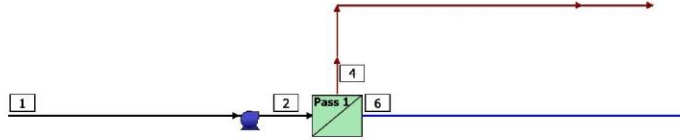
Peak Power	(kW)	23.98
Energy	(kWh/d)	154.74
Electricity Unit Cost	(\$/kWh)	0.0900
Electricity Cost	(\$/d)	13.93
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.07

Chemicals

Chemical	Unit Cost (\$/kg)	Dose 100% (mg/L)	Volume (L/d)	Cost (\$/d)
Citric Acid (50%)	0.760		9.5	14.46
CEB1		1000		
CIP		20000		
NaOCl (12%)	0.330		22.2	8.34
CEB2		750		
CIP		2000		
NaOH (50%)	0.258		3.5	1.38
CEB2		688		
CIP		688		
Total Chemical Cost				24.19

Utility and Chemical Cost	(\$/d)	288.88
Specific Water Cost	(\$/m ³)	0.127

Information provided is offered in good faith, but without guarantees. Users of such information assume all risk and liability and expressly release DuPont de Nemours Inc. and its subsidiaries, officers and agents from any and all liability. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users of information set forth herein or generated during use of WAVE are responsible for determining suitability of the information. Neither DuPont nor its subsidiaries assume any liability for results obtained or damages incurred from the use of information provided and TO THE FULLEST EXTENT PERMITTED BY LAW, EXPRESSLY DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Users will not export or re-export any information or technology received from DuPont or its subsidiaries, or the direct products or designs based upon such information or technology in violation of the export-control or customs laws or regulations of any country, including those of the United States of America. DuPont™, DuPont Oval Logo, and all products denoted with ® or ™ are trademarks or registered trademarks of DuPont or its affiliates. Copyright © 2020 DuPont. DOWEX™, DOWEX MONOSPHERE™, DOWEX MARATHON™, DOWEX UPCORE™ are a trademark of The Dow Chemical Company used under license by DuPont.

RO Detailed Report
RO System Flow Diagram


#	Description	Flow (L/s)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	26.4	309.6	0.0
2	Net Feed to Pass 1	26.4	309.7	3.9
4	Total Concentrate from Pass 1	5.81	681.6	1.5
6	Net Product from RO System	20.6	204.4	0.0

RO System Overview

Total # of Trains	1	Online =	1	Standby =	0	RO Recovery	78.0 %
System Flow Rate	(L/s)	Net Feed =	26.4	Net Product =	20.6		

Pass	Pass 1
Stream Name	Stream 1
Water Type	Waste With DuPont UF, SDI < 2.5
Number of Elements	126
Total Active Area (m ²)	4682
Feed Flow per Pass (L/s)	26.4
Feed TDS* (mg/L)	309.7
Feed Pressure (bar)	3.9
Flow Factor Per Stage	0.65, 0.65, 0.65
Permeate Flow per Pass (L/s)	20.6
Pass Average flux (LMH)	15.8
Permeate TDS* (mg/L)	204.4
Pass Recovery	78.0 %
Average NDP (bar)	1.7
Specific Energy (kWh/m ³)	0.17
Temperature (°C)	25.0
pH	6.7
Chemical Dose	-
RO System Recovery	78.0 %
Net RO System Recovery	78.0%

Footnotes:

*Total Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂

RO Flow Table (Stage Level) - Pass 1

Stage	Elements	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(L/s)	(L/s)	(bar)	(bar)	(L/s)	(bar)	(bar)	(L/s)	(LMH)	(bar)	(mg/L)
1	NF270-400/34i	12	6	26.4	0.00	3.6	0.0	14.2	3.2	0.4	12.2	16.5	1.5	179.5
2	NF270-400/34i	6	6	14.2	0.0	3.0	0.0	8.74	2.4	0.5	5.43	14.6	1.0	229.2
3	NF270-400/34i	3	6	8.74	0.0	2.2	0.0	5.81	1.5	0.7	2.93	15.8	0.0	262.6

RO Solute Concentrations - Pass 1

Concentrations (mg/L as ion)								
	Feed	Concentrate			Permeate			Total
		Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	
NH ₄ ⁺	16.56	21.23	25.94	31.29	11.16	13.65	15.32	12.41
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	49.69	64.02	78.49	95.01	33.12	40.70	45.78	36.92
Mg ²⁺	2.42	3.82	5.48	7.55	0.80	1.16	1.37	0.98
Ca ²⁺	20.23	30.83	43.03	58.14	7.96	11.18	13.11	9.54
Sr ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ²⁻	0.03	0.06	0.10	0.15	0.01	0.02	0.03	0.02
HCO ₃ ⁻	88.64	121.3	150.6	180.5	50.51	73.73	90.84	62.40
NO ₃ ⁻	4.79	4.51	4.14	3.77	5.12	5.10	4.88	5.08
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	60.30	64.89	66.28	66.63	55.00	62.65	65.57	58.52
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ²⁻	48.00	87.55	139.2	206.2	2.22	4.36	6.64	3.41
PO ₄ ³⁻	3.92	6.37	8.95	11.71	1.08	2.21	3.48	1.72
SiO ₂	15.00	17.20	18.92	20.61	12.46	14.43	15.56	13.42
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	25.36	25.84	26.40	27.06	25.04	25.21	25.44	25.13
TDS ^a	309.6	421.8	541.2	681.6	179.5	229.2	262.6	204.4
Cond. μS/cm	496	663	841	1,050	298	368	412	333
pH	6.7	6.8	6.9	6.9	6.5	6.6	6.7	6.6

Footnotes:

^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂
RO Design Warnings

None

Special Comments

None

RO Flow Table (Element Level) - Pass 1



Stage	Element	Element Name	Recovery (%)	Feed Flow (L/s)	Feed Press (bar)	Feed TDS (mg/L)	Conc Flow (L/s)	Perm Flow (L/s)	Perm Flux (LMH)	Perm TDS (mg/L)
1	1	NF270-400/34i	8.5	2.20	3.6	309.7	2.01	0.19	18.2	156.7
1	2	NF270-400/34i	8.9	2.01	3.5	323.9	1.83	0.18	17.3	165.4
1	3	NF270-400/34i	9.3	1.83	3.4	339.3	1.66	0.17	16.6	174.4
1	4	NF270-400/34i	9.9	1.66	3.3	356.2	1.50	0.17	16.0	183.9
1	5	NF270-400/34i	10.7	1.50	3.3	375.0	1.34	0.16	15.5	193.8
1	6	NF270-400/34i	11.7	1.34	3.2	396.6	1.18	0.16	15.1	204.5
2	1	NF270-400/34i	7.3	2.36	3.0	421.8	2.19	0.17	16.7	202.6
2	2	NF270-400/34i	7.4	2.19	2.9	439.0	2.03	0.16	15.7	213.3
2	3	NF270-400/34i	7.6	2.03	2.8	456.9	1.87	0.15	14.8	224.1
2	4	NF270-400/34i	7.8	1.87	2.7	475.7	1.73	0.15	14.1	234.9
2	5	NF270-400/34i	8.0	1.73	2.6	495.8	1.59	0.14	13.5	245.9
2	6	NF270-400/34i	8.4	1.59	2.5	517.5	1.46	0.13	12.9	257.0
3	1	NF270-400/34i	6.6	2.91	2.2	541.2	2.72	0.19	18.6	230.1
3	2	NF270-400/34i	6.6	2.72	2.1	563.0	2.54	0.18	17.3	243.4
3	3	NF270-400/34i	6.5	2.54	2.0	585.2	2.38	0.17	16.1	256.7
3	4	NF270-400/34i	6.6	2.38	1.8	608.0	2.22	0.16	15.1	270.0
3	5	NF270-400/34i	6.6	2.22	1.7	631.6	2.07	0.15	14.2	283.4
3	6	NF270-400/34i	6.7	2.07	1.6	656.0	1.94	0.14	13.4	296.6

Footnotes:

*Total Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂

RO Solubility Warnings

None

RO Chemical Adjustments

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.7	6.9
Langelier Saturation Index	-1.62	-0.65
Stiff & Davis Stability Index	-0.78	-0.14
TDS* (mg/l)	309.6	681.6
Ionic Strength (molal)	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	88.64	180.5
CO ₂ (mg/l)	25.36	27.07
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.03	0.15
CaSO ₄ (% saturation)	0.25	2.7
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	11.5	16.3
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Footnotes:

*Total Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂



RO Utility and Chemical Costs

Service Water

	Flow Rate (L/s)	Unit Cost (\$/m ³)	Hourly Cost (\$/h)	Daily Cost (\$/d)
Non-Product Feed Water				
Pass 1	5.8	0.1400	2.93	70.23
Total Non-product Feed Water Cost	5.8		2.93	70.23
Waste Water Disposal				
Pass 1	5.8	0.6900	14.42	346.14
Total Waste Water Disposal	5.8		14.42	346.14
Total Service Water Cost				416.37

Electricity

Peak Power	(kW)	13.0
Energy	(kWh/d)	311.1
Electricity Unit Cost	(\$/kWh)	0.0900
Electricity Cost	(\$/d)	28.0
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.17

Pump	Flow Rate (L/s)	Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (\$/d)
Pass 1				
Feed	26.40	12.96	311.06	28.00
Pass 1 Total		12.96	311.06	28.00
System Total		12.96	311.06	28.00

Chemical

Chemical	Unit Cost (\$/kg)	Dose 100% (mg/L)	Volume (L/d)	Cost (\$/d)
Total Chemical Cost				0.0

Utility and Chemical Cost	(\$/d)	444.4
Specific Water Cost	(\$/m ³)	0.250

Information provided is offered in good faith, but without guarantees. Users of such information assume all risk and liability and expressly release DuPont de Nemours Inc. and its subsidiaries, officers and agents from any and all liability. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users of information set forth herein or generated during use of WAVE are responsible for determining suitability of the information. Neither DuPont nor its subsidiaries assume any liability for results obtained or damages incurred from the use of information provided and TO THE FULLEST EXTENT PERMITTED BY LAW, EXPRESSLY DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Users will not export or re-export any information or technology received from DuPont or its subsidiaries, or the direct products or designs based upon such information or technology in violation of the export-control or customs laws or regulations of any country, including those of the United States of America. DuPont™, DuPont Oval Logo, and all products denoted with ® or ™ are trademarks or registered trademarks of DuPont or its affiliates. Copyright © 2020 DuPont. DOWEX™, DOWEX MONOSPHERE™, DOWEX MARATHON™, DOWEX UPCORE™ are a trademark of The Dow Chemical Company used under license by DuPont.



WATER APPLICATION VALUE ENGINE
WATER SOLUTIONS

WAVE Program Version: 1.82.824

Calculation Engine Version: 01.12.04.00

Database Version: 27



Project Name: Master - ETE + UF/NF - UF/RO

Case Name: ETE RJ

Customer:

Prepared by: Fabio de CARvalho

Company: DuPont

Country:

Date Created: May 06, 2021

Project Notes:

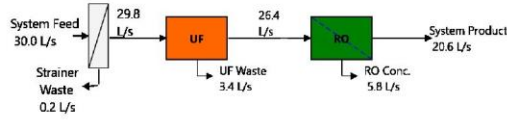
Case #: 2 of: 2

Case Notes: Case 2

Keywords:

Additional Feed Water Information

Stream 1: Sódio e cloreto adicionados para uma condutividade de 496 uS/cm

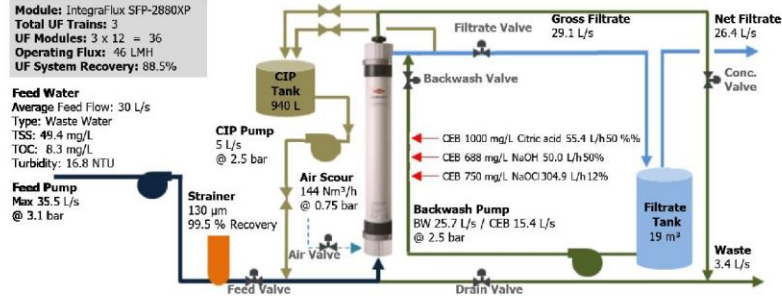


		Strainer	Ultrafiltration	Reverse Osmosis
Feed	Flow Rate (L/s)	30.0	29.8	26.4
	TDS (mg/L)	345.4 ^b	345.4 ^b	309.6 ^a
	pH	6.7	6.7	6.7
	Pressure (bar)	1.3	1.3	6.2
	Temperature (°C)	25.0	25.0	25.0
Product	Flow Rate (L/s)	29.8	26.4	20.6
	TDS (mg/L)	345.4 ^b	345.4 ^b	9.0 ^a
	pH	6.7	6.7	5.4
	Recovery	99.5 %	88.45 %	78.0 %
	Operating Costs (\$/h)	-	12.0	19.2
	Specific Energy (kWh/m ³)	-	0.07	0.27
	Operating Cost (\$/m ³)	-	0.127	0.259
System	Specific Energy (kWh/m ³)	0.36		
	Operating Cost (\$/m ³)	1.51		
	Feed Flow Rate (L/s)	30.0		
	Product Flow Rate (L/s)	20.6		
	Recovery	68.7 %		

Footnotes:

^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂

^bTotal Dissolved Solutes includes ions, SiO₂, B(OH)₃, NH₃ and CO₂ as H₂CO₃

UF Detailed Report

UF System Overview

Module Type	IntegraFlux SFP-2880XP		
# Trains	Online = 3	Standby = 0	Redundant = 0
# Modules	Per Train = 12	Total = 36	
System Flow Rate (L/s)	Gross Feed = 30.0	Net Product = 26.4	
Train Flow Rate (L/s)	Gross Feed = 10.0	Net Product = 8.8	
UF System Recovery (%)	88.45		
TMP (bar)	0.27 @ 23.0 °C		0.26 @ 25.0 °C
Utility Water	Forward Flush: Pretreated water	Backwash: UF filtrate water	
	CEB Water Source: UF filtrate water	CIP Water Source: UF filtrate water	

UF Operating Conditions

	Duration	Interval	Flux/Flow
Filtration:	25.0 min	29.2 min	-
Instantaneous			
3 Online Trains			46 LMH
3 Total Trains			46 LMH
Average			38 LMH
Net			34 LMH
Backwash	4.2 min	29.2 min	100 LMH
Acid CEB	17.6 min	12 h	60 LMH
Alkali CEB	17.6 min	24 h	60 LMH
CIP	313.4 min	30 d	0.42 L/s
Membrane Integrity Testing	12.0 min	24 h	-



UF Water Quality

Stream Name		Stream 1	
Water Type		Waste Water (23.0 - 30.0 °C)	
		Feed	Expected UF Product Water Quality
Temperature	(°C)	25.0	25.0
Turbidity	(NTU)	16.8	≤ 0.1
TSS	(mg/L)	49.4	-
Organics (TOC)	(mg/L TOC)	8.3	7.5
TDS	(mg/L)	345	345
pH		6.7	6.7

UF Configuration Options

Standby Option:	Constant module flux, variable plant filtrate flow
Storage Tank Option:	Storage Tank sized to maintain constant net filtrate flow
Forward Flush Water Source:	Pretreated water
BW Water Source:	UF filtrate water
CEB Water Source:	UF filtrate water
CIP Water Source:	UF filtrate water

UF System Size and Module Details

Trains		Module Details		
		Name: IntegraFlux SFP-2880XP		
Online Trains	3	Membrane Area	77 m ²	829 ft ²
Standby Trains	0	Length	2.360 m	92.9 in
Redundant Trains	0	Diameter	0.225 m	8.9 in
Total Trains	3	Weight (empty)	61 kg	134 lb
Max Offline Trains	1	Weight (water filled)	100 kg	220 lb
Modules/Train	12	Water Volume	39.0 L	10.3 gal
Total Modules	36			



UF Flow Details

Stream		Maximum Flow ^a	Average Flow
Feed (Gross)	(L/s)	35.6	30.0
Feed Water Used for	(L/s)		
Pretreatment	(L/s)		0.2
Forward Flush & Process Streams	(L/s)		0.8
Feed (Net)	(L/s)	35.4	29.1
Filtrate (Gross)	(L/s)	35.4	29.1
Filtrate Used for Cleaning	(L/s)		2.7
Filtrate (Net)	(L/s)		26.4
Air	(N m ³ /h)	144.0	4.2
Backwash (BW)	(L/s)	25.7	2.5
Forward Flush Flowrate	(L/s)	6.7	0.8
CEB 1 (Acid)	(L/s)	15.4	0.1
CEB 2 (Alkali and/or Oxidant)	(L/s)	15.4	0.0
CIP Recycle	(L/s)	5.0	0.0
CEB Citric acid (50 %) Metering Pump	(L/h)	55.4	
CEB NaOH (50%) Metering Pump	(L/h)	50.0	
CEB NaOCl(12%) Metering Pump	(L/h)	304.9	
CIP Citric acid (50 %) Metering Pump	(L/h)	362.9	
CIP NaOH (50%) Metering Pump	(L/h)	16.4	
CIP NaOCl(12%) Metering Pump	(L/h)	266.1	

Footnotes:

^a Maximum possible flow rate

UF Pump Hydraulics and Electrical Cost

Pump	Peak Flowrate (L/s)	Average Pressure (bar)	Mechanical Power (kW)	Electrical Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (\$/d)
Feed	35.55	1.26	3.76	5.11	122.75	11.05
Backwash	25.67	1.06	2.71	3.68	8.73	0.79
CEB	15.40	0.63	0.97	1.32	0.28	0.03
Citric acid (50 %) Metering Pump	0.02		0.00	0.00		
NaOH (50%) Metering Pump	0.01		0.00	0.00		
NaOCl(12%) Metering Pump	0.08		0.01	0.01		
CIP	5.04	2.50	1.26	1.71	0.32	0.03
Citric acid (50 %) Metering Pump	0.10		0.05	0.07		
NaOH (50%) Metering Pump	0.00		0.00	0.00		
NaOCl(12%) Metering Pump	0.07		0.02	0.03		
CIP Solution Heating				10.83	2.05	0.19
Air Compressor	40.00	0.75	2.46	5.35	13.41	1.21
Electrical Valves				0.00	0.00	0.00
PLC and Instrumentation				0.30	7.20	0.65
Total Electrical Cost					154.74	13.93

UF Pressure Ratings

Process	T (°C)	TMP ^a (bar)	Fouling Max ΔP (bar)	Piping ΔP (bar)	Filtrate Pres. (bar)	Feed Pres. ^b (bar)	Pres. Rating (bar)	OK? ^c
Filtration								
Minimum Temp.	23.0	0.27	0.00	0.52	0.50	1.29	6.10	✓
Design Temp.	25.0	0.26	0.00	0.50	0.50	1.26	6.00	✓
Maximum Temp.	30.0	0.23	0.00	0.45	0.50	1.18	5.75	✓
BW	25.0	0.56	0.00	0.50		1.06	6.00	✓
CEB	25.0	0.33	0.00	0.30		0.63	6.00	✓
CIP	35.0			2.50		2.50	5.25	✓

Footnotes:

^a At actual, average flux

^b Sum of TMP, fouling ΔP, piping ΔP and filtrate pressure. Does not include pressure drop at the strainer. Pressure drops are based on user inputs. Default values should not be used for pump sizing

^c Comparison of Feed Pressure to Pressure Rating—a conservative comparison due to piping losses between the feed pump and module inlet.

UF Utility and Chemical Costs
Service Water

	Average Flowrate (L/s)	Unit Cost (\$/m ³)	Hourly Cost (\$/h)	Daily Cost (\$/d)
Non-Product Feed Water	3.45	0.1400	1.74	41.69
Waste Water Disposal	3.45	0.6900	8.56	205.46
Total Service Water Cost				247.15

Electricity

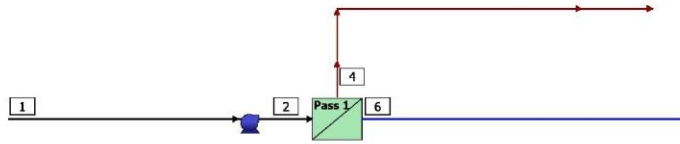
Peak Power	(kW)	23.98
Energy	(kWh/d)	154.74
Electricity Unit Cost	(\$/kWh)	0.0900
Electricity Cost	(\$/d)	13.93
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.07

Chemicals

Chemical	Unit Cost (\$/kg)	Dose 100% (mg/L)	Volume (L/d)	Cost (\$/d)
Citric Acid (50%)	0.760		9.5	14.46
CEB1		1000		
CIP		20000		
NaOCl (12%)	0.330		22.2	8.34
CEB2		750		
CIP		2000		
NaOH (50%)	0.258		3.5	1.38
CEB2		688		
CIP		688		
Total Chemical Cost				24.19

Utility and Chemical Cost	(\$/d)	288.88
Specific Water Cost	(\$/m ³)	0.127

Information provided is offered in good faith, but without guarantees. Users of such information assume all risk and liability and expressly release DuPont de Nemours Inc. and its subsidiaries, officers and agents from any and all liability. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users of information set forth herein or generated during use of WAVE are responsible for determining suitability of the information. Neither DuPont nor its subsidiaries assume any liability for results obtained or damages incurred from the use of information provided and TO THE FULLEST EXTENT PERMITTED BY LAW, EXPRESSLY DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Users will not export or re-export any information or technology received from DuPont or its subsidiaries, or the direct products or designs based upon such information or technology in violation of the export-control or customs laws or regulations of any country, including those of the United States of America. DuPont™, DuPont Oval Logo, and all products denoted with ® or ™ are trademarks or registered trademarks of DuPont or its affiliates. Copyright © 2020 DuPont. DOWEX™, DOWEX MONOSPHERE™, DOWEX MARATHON™, DOWEX UPCORE™ are a trademark of The Dow Chemical Company used under license by DuPont.

RO Detailed Report
RO System Flow Diagram


#	Description	Flow (L/s)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	26.4	309.6	0.0
2	Net Feed to Pass 1	26.4	309.7	6.2
4	Total Concentrate from Pass 1	5.81	1,370	3.5
6	Net Product from RO System	20.6	9.01	0.0

RO System Overview

Total # of Trains	1	Online =	1	Standby =	0	RO Recovery	78.0 %
System Flow Rate	(L/s)	Net Feed =	26.4	Net Product =	20.6		

Pass	Pass 1
Stream Name	Stream 1
Water Type	Waste With DuPont UF, SDI < 2.5
Number of Elements	120
Total Active Area (m ²)	4905
Feed Flow per Pass (L/s)	26.4
Feed TDS* (mg/L)	309.7
Feed Pressure (bar)	6.2
Flow Factor Per Stage	0.65, 0.65, 0.65
Permeate Flow per Pass (L/s)	20.6
Pass Average flux (LMH)	15.1
Permeate TDS* (mg/L)	9.01
Pass Recovery	78.0 %
Average NDP (bar)	3.6
Specific Energy (kWh/m ³)	0.27
Temperature (°C)	25.0
pH	6.7
Chemical Dose	-
RO System Recovery	78.0 %
Net RO System Recovery	78.0%

Footnotes:

*Total Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂

RO Flow Table (Stage Level) - Pass 1

Stage	Elements	#PV	#EIs per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(L/s)	(L/s)	(bar)	(bar)	(L/s)	(bar)	(bar)	(L/s)	(LMH)	(bar)	(mg/L)
1	Eco Platinum-440i	11	6	26.4	0.00	5.9	0.0	14.4	5.3	0.6	12.0	16.0	1.5	6.11
2	Eco Platinum-440i	6	6	14.4	0.0	5.1	0.0	8.60	4.5	0.6	5.80	14.2	1.0	11.03
3	Eco Platinum-440i	3	6	8.60	0.0	4.3	0.0	5.81	3.5	0.8	2.80	13.7	0.0	17.48

RO Solute Concentrations - Pass 1

Concentrations (mg/L as ion)								
	Feed	Concentrate			Permeate			
		Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Total
NH ₄ ⁺	16.56	30.09	49.88	73.31	0.35	0.70	1.21	0.56
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	49.69	90.17	149.5	219.8	1.17	2.14	3.31	1.73
Mg ²⁺	2.42	4.43	7.40	10.94	0.01	0.03	0.04	0.02
Ca ²⁺	20.23	37.00	61.78	91.36	0.12	0.22	0.35	0.18
Sr ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ²⁻	0.03	0.11	0.32	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	88.64	159.5	262.1	382.5	2.85	5.01	8.00	4.13
NO ₃ ⁻	4.79	8.62	14.17	20.73	0.20	0.37	0.57	0.30
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	60.30	109.8	182.7	269.3	0.93	1.71	2.67	1.38
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ²⁻	48.00	87.85	146.7	217.0	0.24	0.44	0.68	0.35
PO ₄ ⁻³	3.92	7.06	11.64	17.05	0.16	0.27	0.39	0.22
SiO ₂	15.00	27.45	45.83	67.78	0.08	0.15	0.25	0.12
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	25.36	26.03	27.21	28.75	25.13	25.74	26.49	25.51
TDS ^a	309.6	562.1	931.9	1,370	6.11	11.03	17.48	9.01
Cond. μS/cm	496	884	1,437	2,074	11	18	27	15
pH	6.7	6.9	7.1	7.2	5.3	5.5	5.7	5.4

Footnotes:

^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂
RO Design Warnings

None

Special Comments

None

RO Flow Table (Element Level) - Pass 1



Stage	Element	Element Name	Recovery (%)	Feed Flow (L/s)	Feed Press (bar)	Feed TDS (mg/L)	Conc Flow (L/s)	Perm Flow (L/s)	Perm Flux (LMH)	Perm TDS (mg/L)
1	1	Eco Platinum-440i	8.1	2.40	5.9	309.7	2.20	0.20	17.2	4.12
1	2	Eco Platinum-440i	8.6	2.20	5.7	336.7	2.02	0.19	16.7	4.54
1	3	Eco Platinum-440i	9.1	2.02	5.6	367.7	1.83	0.18	16.2	5.03
1	4	Eco Platinum-440i	9.8	1.83	5.5	403.9	1.65	0.18	15.7	5.62
1	5	Eco Platinum-440i	10.5	1.65	5.4	446.8	1.48	0.17	15.4	6.33
1	6	Eco Platinum-440i	11.5	1.48	5.4	498.5	1.31	0.17	15.0	7.30
2	1	Eco Platinum-440i	7.4	2.40	5.1	562.1	2.22	0.18	15.5	7.47
2	2	Eco Platinum-440i	7.6	2.22	5.0	605.9	2.05	0.17	14.9	8.31
2	3	Eco Platinum-440i	8.0	2.05	4.9	655.0	1.89	0.16	14.4	9.26
2	4	Eco Platinum-440i	8.3	1.89	4.8	710.5	1.73	0.16	13.9	10.36
2	5	Eco Platinum-440i	8.8	1.73	4.7	773.8	1.58	0.15	13.4	11.62
2	6	Eco Platinum-440i	9.3	1.58	4.6	846.8	1.43	0.15	13.0	13.10
3	1	Eco Platinum-440i	6.1	2.87	4.3	931.9	2.69	0.17	15.4	11.71
3	2	Eco Platinum-440i	6.2	2.69	4.2	991.3	2.53	0.17	14.7	13.01
3	3	Eco Platinum-440i	6.3	2.53	4.0	1,055	2.37	0.16	14.0	14.46
3	4	Eco Platinum-440i	6.4	2.37	3.9	1,125	2.22	0.15	13.3	16.09
3	5	Eco Platinum-440i	6.5	2.22	3.8	1,200	2.07	0.14	12.7	17.92
3	6	Eco Platinum-440i	6.6	2.07	3.7	1,281	1.94	0.14	12.1	19.98

Footnotes:

*Total Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂

RO Solubility Warnings

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

RO Chemical Adjustments

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	6.7	7.2
Langelier Saturation Index	-1.62	0.11
Stiff & Davis Stability Index	-0.78	0.41
TDS* (mg/l)	309.6	1,370
Ionic Strength (molal)	0.01	0.02
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	88.64	382.5
CO ₂ (mg/l)	25.36	28.75
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.03	0.69
CaSO ₄ (% saturation)	0.25	3.7
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	11.5	54.2
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.00

Footnotes:

*Total Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B(OH)₃. It does not include NH₃ and CO₂



RO Utility and Chemical Costs

Service Water

	Flow Rate (L/s)	Unit Cost (\$/m ³)	Hourly Cost (\$/h)	Daily Cost (\$/d)
Non-Product Feed Water				
Pass 1	5.8	0.1400	2.93	70.23
Total Non-product Feed Water Cost	5.8		2.93	70.23
Waste Water Disposal				
Pass 1	5.8	0.6900	14.42	346.14
Total Waste Water Disposal	5.8		14.42	346.14
Total Service Water Cost				416.37

Electricity

Peak Power	(kW)	20.4
Energy	(kWh/d)	489.0
Electricity Unit Cost	(\$/kWh)	0.0900
Electricity Cost	(\$/d)	44.0
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.27

Pump	Flow Rate (L/s)	Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (\$/d)
Pass 1				
Feed	26.40	20.37	488.99	44.01
Pass 1 Total		20.37	488.99	44.01
System Total		20.37	488.99	44.01

Chemical

Chemical	Unit Cost (\$/kg)	Dose 100% (mg/L)	Volume (L/d)	Cost (\$/d)
Total Chemical Cost				0.0

Utility and Chemical Cost	(\$/d)	460.4
Specific Water Cost	(\$/m ³)	0.259

Information provided is offered in good faith, but without guarantees. Users of such information assume all risk and liability and expressly release DuPont de Nemours Inc. and its subsidiaries, officers and agents from any and all liability. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users of information set forth herein or generated during use of WAVE are responsible for determining suitability of the information. Neither DuPont nor its subsidiaries assume any liability for results obtained or damages incurred from the use of information provided and TO THE FULLEST EXTENT PERMITTED BY LAW, EXPRESSLY DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Users will not export or re-export any information or technology received from DuPont or its subsidiaries, or the direct products or designs based upon such information or technology in violation of the export-control or customs laws or regulations of any country, including those of the United States of America. DuPont™, DuPont Oval Logo, and all products denoted with ® or ™ are trademarks or registered trademarks of DuPont or its affiliates. Copyright © 2020 DuPont. DOWEX™, DOWEX MONOSPHERE™, DOWEX MARATHON™, DOWEX UPCORE™ are a trademark of The Dow Chemical Company used under license by DuPont.

Apêndice D – Projeções de consumo de anti incrustante

ETE RJ (UF+OR)



ProDose XPRT Report v:3.1.0.2

Project Information

Client: FÁBIO DE CARVALHO Print Date: 5/7/2021 8:44:21 AM
 Project: ETE RJ Comments:
 Location: BRASIL Case Number: 1
 Prepared By: Case Description:

System Information

Feed Water Type: Municipal Waste Water Flow Units: m3/hr
 Feed Water Flow: 26.4 Concentrate Flow: 5.8
 Permeate Flow: 20.6 Recycle Flow: 0.0
 System Recovery (%): 78.00% RO Recovery: 78.00%
 Feed Temperature: 25.0 Deg C Membrane Rejection: 99.3%

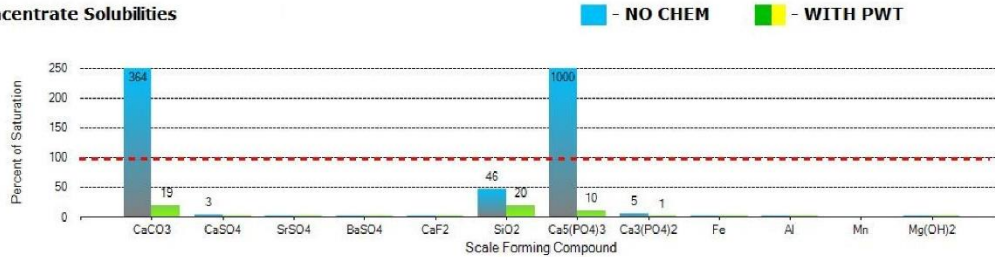
Product Selection

Antiscalant Dose Rate: **2.55 mg/l Feed** **11.60 mg/l in Concentrate**
 Estimated Usage (100%): **1.62 kg/day** **0.65 US ton/yr, 590 kg/yr**

SpectraGuard 100

Pretreatment: **Base added - NaOH** **Dose approx 10.1 ppm to feed**
 Estimated Usage (100%): **6.37 kg/day** **2.6 US ton/yr, 2,327 kg/yr**

Concentrate Solubilities



Saturation %	Raw Feed	Feed	Concentrate	With PWT	Saturation %	Raw Feed	Feed	Concentrate	With PWT
LSI	-1.5	-1.4	0.7	-	SiO2	10.2	10.2	46.0	20.0
CCPP-ppm	-54	-59	71	-	Ca5(PO4)3-SI	-3.4	-3.5	5.7	10.1
CaCO3	2	2	364	18.7	Ca3(PO4)2-SI	-4.6	-4.6	0.7	1.2
CaSO4	0.3	0.3	3.2	0.5	Fe	0.0	0.0	0.0	0.0
SrSO4	0.0	0.0	0.0	0.0	Al	0.0	0.0	0.0	0.0
BaSO4	0.0	0.0	0.0	0.0	Mn	0.0	0.0	0.0	0.0
CaF2	0.0	0.0	0.0	0.0	Mg(OH)2	0	0	0	0

PWT Chemicals
 1048 La Mirada Court, Vista
 California 92081, USA

+1 760-639-4400 | service@pwtchemicals.com
pwtchemicals.com

Water Analysis

Ions (mg/l)	Sys Feed	Pretreatment	Net Feed	Permeate	Concentrate
Ca	20.23	20.23	20.23	0.04	91.82
Mg	2.42	2.42	2.42	0.00	10.98
Na	56.98	62.77	62.77	0.37	284.01
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NH4	16.56	16.56	16.56	0.39	73.91
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	88.64	103.93	103.93	2.42	462.39
Cl	60.30	60.30	60.30	0.35	272.85
SO4	48.00	48.00	48.00	0.09	217.85
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NO3	4.79	4.79	4.79	0.03	21.67
PO4	3.92	3.92	3.92	0.01	17.79
SiO2	15.00	15.00	15.00	0.09	67.87
TDS	317	338	338	18	1,523
pH	6.70	7.00	7.00	5.46	7.68

PRODOSE™ is provided on an "as is" basis, without warranties of any kind, either expressed or implied, including, without limitation, the warranties of merchantability, fitness for a particular purpose and noninfringement. While every effort has been made to ensure its accuracy, licensee assumes the entire risk as to the quality and performance of this software, including the accuracy of the data obtained by its use.

PWT Chemicals
 1048 La Mirada Court, Vista
 California 92081, USA

+1 760-639-4400 | service@pwtchemicals.com
pwtchemicals.com

ETE RJ (UF+OR)



ProDose XPRT Report v:3.1.0.2

Project Information

Client: FÁBIO DE CARVALHO	Print Date: 5/7/2021 8:44:21 AM
Project: ETE BN NF	Comments:
Location: BRASIL	Case Number: 1
Prepared By:	Case Description:

System Information

Feed Water Type: Well Water	Flow Units: m3/hr	Concentrate Flow: 5.8
Feed Water Flow: 26.4	Concentrate Flow: 5.8	Recycle Flow: 0.0
Permeate Flow: 20.6	RO Recovery: 78.00%	Membrane Rejection: 99.3%
System Recovery (%): 78.00%	Feed Temperature: 25.0 Deg C	

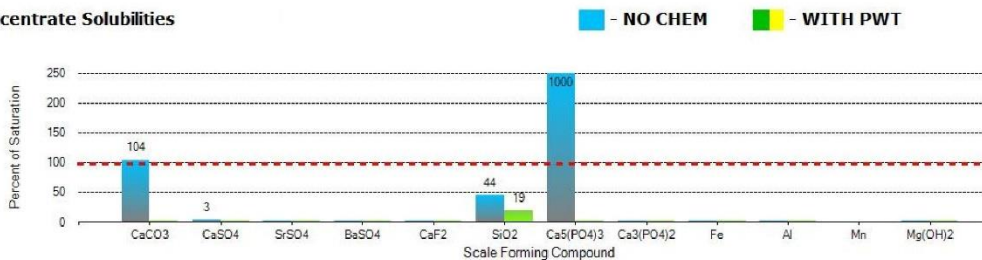
Product Selection

Antiscalant Dose Rate: **2.55 mg/l Feed** **11.60 mg/l in Concentrate**
 Estimated Usage (100%): **1.62 kg/day** **0.65 US ton/yr, 590 kg/yr**

SpectraGuard 100

Pretreatment: **No acid/base dose**
 Estimated Usage (100%): **0.00 kg/day**

Concentrate Solubilities



Saturation %	Raw Feed	Feed	Concentrate	With PWT	Saturation %	Raw Feed	Feed	Concentrate	With PWT
LSI	-1.5	-1.5	0.2	-	SiO2	10.2	10.2	44.3	19.2
CCPP-ppm	-54	-54	27	-	Ca5(PO4)3-SI	-3.4	-3.4	3.9	0.2
CaCO3	2	2	104	0.6	Ca3(PO4)2-SI	-4.6	-4.6	-0.3	0.1
CaSO4	0.3	0.3	3.3	0.5	Fe	0.0	0.0	0.0	0.0
SrSO4	0.0	0.0	0.0	0.0	Al	0.0	0.0	0.0	0.0
BaSO4	0.0	0.0	0.0	0.0	Mn	0.0	0.0	0.0	0.0
CaF2	0.0	0.0	0.0	0.0	Mg(OH)2	0	0	0	0

PWT Chemicals
 1048 La Mirada Court, Vista
 California 92081, USA

+1 760-639-4400 | service@pwtchemicals.com
pwtchemicals.com

Water Analysis

Ions (mg/l)	Sys Feed	Pretreatment	Net Feed	Permeate	Concentrate
Ca	20.23	20.23	20.23	0.39	90.58
Mg	2.42	2.42	2.42	0.05	10.84
Na	56.98	56.98	56.98	3.32	247.24
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NH4	16.56	16.56	16.56	3.86	61.60
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	88.64	88.64	88.64	20.65	329.33
Cl	60.30	60.30	60.30	3.51	261.64
SO4	48.00	48.00	48.00	0.92	214.91
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NO3	4.79	4.79	4.79	0.28	20.78
PO4	3.92	3.92	3.92	0.08	17.55
SiO2	15.00	15.00	15.00	0.87	65.08
TDS	317	317	317	61	1,320
pH	6.70	6.70	6.70	6.15	7.30

PRODOSE™ is provided on an "as is" basis, without warranties of any kind, either expressed or implied, including, without limitation, the warranties of merchantability, fitness for a particular purpose and noninfringement. While every effort has been made to ensure its accuracy, licensee assumes the entire risk as to the quality and performance of this software, including the accuracy of the data obtained by its use.

PWT Chemicals
 1048 La Mirada Court, Vista
 California 92081, USA

+1 760-639-4400 | service@pwtchemicals.com
pwtchemicals.com