UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL

ROBERTA PETRY CHAMON

PÓS TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO INDUSTRIAL PELO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA: ESTUDO DE CASO

CURITIBA
2011

ROBERTA PETRY CHAMON

PÓS TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO INDUSTRIAL PELO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA: ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Urivald Pawlowsky.

CURITIBA

2011

TERMO DE APROVAÇÃO

ROBERTA PETRY CHAMON

"PÓS TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO INDUSTRIAL PELO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA: ESTUDO DE CASO"

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

Urivald Pawlowsky
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:

Miguel Mansur Aisse
Universidade Federal do Paraná

Agnes de Paula Scheer
Universidade Federal do Paraná

Daniel Costa dos Santos
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 02 de março de 2011

A meus pais e minha irmã pelo que sou hoje e pelo apoio que sempre me deram, e ao meu namorado Matheus pelo carinho e pela compreensão nos momentos de ausência, estando sempre ao meu lado me incentivando.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Urivald Pawlowsky pela orientação, pelos ensinamentos e confiança depositada.

A Engª Patrícia Sorgi, pela paciência e pelos ensinamentos e orientações que me passou durante todo o desenvolvimento deste estudo, sempre me apoiando e me passando confiança.

A EnvironQuip pelo patrocínio de todo o projeto e por possibilitar minha dispensa durante a realização dos testes, proporcionando maior dedicação ao estudo.

A toda equipe EnvironQuip que, de alguma forma, colaborou para que este estudo fosse desenvolvido.

Aos professores convidados Miguel Aisse, Agnes Scheer e Daniel Costa dos Santos pela atenção dispensada.

Ao Centro de Tratamento e Disposição de Resíduos em que o estudo foi desenvolvido, em nome da Engª Gabriela de Souza A. Fernandes, por propiciar que o estudo fosse realizado nas dependências da unidade e pela confiança depositada para o seu desenvolvimento.

Ao Marcelo, pela amizade, pela paciência, pelo apoio e pela ajuda durante a realização dos testes.

Ao Adenílson e a equipe da CSM Calderaria, responsáveis pela montagem das unidades pilotos utilizadas neste estudo, e por se colocarem sempre a disposição para qualquer reparo que fosse necessário, atendendo prontamente quando necessário.

Ao Valdemir e a equipe da Eletropontual, responsável pelas interligações elétricas necessárias para o funcionamento das unidades pilotos utilizadas neste estudo, e por, da mesma forma, sempre estarem dispostos a ajudar com eventuais problemas elétricos.

Ao Engº Ailton pelas orientações e por sempre se colocar a disposição para ajudar tecnicamente quanto ao funcionamento das unidades pilotos.

A empresa Yporã, em nome de Cícero Franco, pelo atendimento e pela disposição de dados sobre o sistema utilizado.

Ao LABEAM e a todos os colegas que me auxiliaram quanto a metodologias e análises laboratoriais, em especial a minha amiga Daniele Botelho.

Aos meus pais pela dedicação durante toda a minha vida e por acreditarem sempre em mim, me incentivando a seguir em frente mesmo com dificuldades. Obrigada por tudo.

A minha irmã pelas conversas e noites mal dormidas. Obrigada pelo apoio irmãzinha.

A Matheus Marder pelo companheirismo, pelo carinho, pelas viagens não feitas e pela paciência nos momentos de stress. Obrigada meu amor por fazer parte da minha vida e estar ao meu lado em todos os momentos me incentivando a seguir em frente.

Ao meu primo Eduardo Chamon pela força durante todo o período que o trabalho foi executado e pelas palavras de incentivo nos momentos de dificuldade.

Aos demais profissionais, colegas e amigos que, direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

Se vives de acordo com as leis da natureza, nunca serás pobre; se vives de acordo com as opiniões alheias, nunca serás rico. Séneca

RESUMO

Uma das grandes dificuldades no tratamento de lixiviado de aterro industrial consiste na remoção dos compostos orgânicos não biodegradáveis, representados, pelos altos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO). Este estudo foi realizado em um Centro de Tratamento o qual recebe, conforme NBR 10004, resíduos industriais de Classe I e Classe II. A tecnologia de Osmose Reversa (OR) foi empregada em três diferentes águas de alimentação obtidas no processo de tratamento do lixiviado gerado pela empresa. O objetivo principal consiste na verificação da sua qualidade final, principalmente quanto a remoção de compostos não biodegradáveis, e posterior reutilização desta água. Os seguintes efluentes foram testados: Efluente Tratado por Reator Biológico de Membrana (MBR), com valores médio de DQO de 197,3 ± 58,7mg/L, Efluente Tratado por processo de Lodos Ativados existente na empresa, com valor de DQO em torno de 1000 mg/L e, por fim, Efluente Retratado por processo Físico-Químico com adição de carvão ativado em pó, cujo valor de DQO é em torno de 700mg/L. Neste estudo foram utilizadas membranas de OR de poliamida, e a unidade piloto é formada por dois estágios de membrana de módulos espirais. O efluente após tratamento por MBR apresentou remoção de DQO em torno de 87,96%. Dentre os parâmetros analisados, as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e do Carbono Orgânico Total (COT) nesta água foram em torno de 2670 mg/L e 27,43 mg/L e a remoção destes compostos atingiu valores na média de 94,65% e 96,07%. 4O MBR, portanto, apresentou-se como um pré-tratamento adequado ao sistema de OR, com tempo total de filtração de 15 horas. Além disso, água obtida é possível de ser reutilizada para fins não potáveis. Embora as remoções com os outros dois efluentes também tenham sido elevadas, a rápida queda na vazão de permeado e o alto potencial de colmatação das membranas que ambos apresentaram demonstram que a filtração destes efluentes pela tecnologia de OR é inviável sem a adoção de pré-tratamento anterior ao sistema.

Palavras-chave: Chorume Industrial, Reuso de Água, Colmatação de Membranas.

ABSTRACT

One of the most problems found in industrial landfill leachate treatments is remove the organic matters which are difficult to oxide biologically. This study was realized in Center of Treatment which receive, in agreement with NBR 10004, industrial waste classified as Class I and Class II. Those are represent mostly due high levels of Chemical Oxygen Demand (COD). Therefore, in this study three different feed waters from a leachate treatment plant were submitted to Reverse Osmosis (RO). The main purpose was verify the final quality from the permeates obtained, especially the value of COD and the possibility to reuse those waters. The feed waters where: treated effluent by membrane bioreactor (MBR) with ultrafiltration membranes, which present 197,3 ± 58,7mg/L of COD, treated effluent by activated sludge process from the wastewater plant that they have installed, which presents values of COD around 1000 mg/L; and finally retreated effluent by physicochemical process with addition of powdered activated carbon, with COD around 700mg/L. For this study spiral wound polyamide Reverse Osmosis membranes were used. The removal of COD from the treated effluent by MBR was around 87,95%. Some other parameters like Total Dissolved Solids (TDS) and Total Carbon Organic (COT) present values around 2670 mg/L and 27,43 mg/L respectively, with average removal around 94,65% and 96,07%. The color was 100% removed from all the feed waters. The MBR therefore, showed to be a good solution as pre-treatment for OR, with 15 hours of total time of filtration without chemical wash. Beside that the treated water obtained can be reused for non potable use. The removal of the compounds obtained for the others two effluents was good, with efficiencies around 90 – 99% but, the fast decrease of flowrate and the high potential to fouling and scaling of both demonstrated that these have no viability to be treated by OR. A pretreatment must be adopted before feed the system with them.

Key-words: Industrial Leachate, Water Reuse, Fouling, Scaling.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PROCESSO SIMPLES DE MEMBRANAS. 43

FIGURA 2 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO MODÚLO ESPIRAL 50

FIGURA 3 - MÓDULOS ESPIRAIS 50

FIGURA 4 - CONFIGURAÇÕES DE MEMBRANAS DE FIBRA OCA 51

FIGURA 5 - FILTRAÇÃO FRONTAL E TANGENCIAL. 52

FIGURA 6 - FORMAÇÃO DA TORTA DE FILTRO NO SISTEMA DE FILTRAÇÃO FRONTAL E SUA EVOLUAÇÃO AO LONGO DO TEMPO PROVOCANDO *FOULING*. 53

FIGURA 7 - TIPOS DE RESISTÊNCIAS CRIADAS EM DIREÇAO AO TRANSPORTE DE MASSA PELA MEMBRANA. 62

FIGURA 8 - FENÔMENO POLARIZAÇÃO POR CONCENTRAÇÃO. 64

FIGURA 9 - COMPORTAMENTO DOS FENÔMENOS DE CONCENTRAÇÃO POLARIZAÇAO E DO *FOULING* AO LONGO DO TEMPO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEMBRANAS. 64

FIGURA 10 - DIFERENTES CONFIGURAÇOES DO SISTEMA DE MBR 80

FIGURA 11 - FÊNOMENO DE OSMOSE E PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DA OSMOSE REVERSA. 83

FIGURA 12 – ARRANJO COM DOIS ESTÁGIOS. 94

FIGURA 13 - A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO FLUXO DE PERMEADO E NA REJEIÇAO DE SAIS PELA MEMBRANA, ASSUMINDO PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE E TEMPERATURA ABAIXO DE 45℃. 96

FIGURA 14 - A INFLUÊNCIA NO FLUXO DE PERMEADO E NA REJEIÇAO DE SAIS PELA MEMBRANA DE ACORDO COM A VARIAÇAO DA CONCENTRAÇAO DE SAIS NA ÁGUA DE ENTRADA, ASSUMINDO PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE 97

FIGURA 15 - A INFLUÊNCIA NO FLUXO DE ÁGUA E NA REJEIÇAO DE SAIS PELA MEMBRANA DE ACORDO COM A VARIAÇAO NA PRESSÃO DE ENTRADA DO SISTEMA. 98

FIGURA 16 - REATOR BIOLÓGICO DE MEMBRANAS. 109

FIGURA 17 - UNIDADE PILOTO DE OSMOSE REVERSA DE 2 ESTÁGIOS 110

FIGURA 18 – CANAIS DE REJEITO E PERMEADO. 111

FIGURA 19 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO PELA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA. 112

FIGURA 20 - TANQUE DE ARMAZENAMENTO E BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA UNIDADE PILOTO DE OSMOSE REVERSA. 113

FIGURA 21 - BOMBA DOSADORA E SEU REPECTIVO PONTO DE DOSAGEM DE PRODUTO ANTI-INCRUSTANTE.....114

FIGURA 22 - FILTRO DE CARTUCHO DE POLIPROPILENO.....115

FIGURA 23 - BOMBA DO TIPO BOOSTER, DE ALTA PRESSÃO. 116

FIGURA 24 INSTRUMENTOS QUE COMPÕEM A UNIDADE PILOTO. 118

FIGURA 25 - TANQUES DE LAVAGEM QUÍMICA.....120

FIGURA 26 - EQUIPAMENTO DE *JAR TEST* PARA TESTE DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO.....121

FIGURA 27 - TANQUE COM AS MANGUEIRAS DE RECIRCULAÇÃO E APARÊNCIA DA ÁGUA NO MOMENTO DA LAVAGEM QUÍMICA ALCALINA DEVIDO AO DESPRENDIMENTO DE MATÉRIA ORGÂNIA DA SUPERFÍCIA DA MEBRANA. 126

FIGURA 28 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%. 138

FIGURA 29 - VARIAÇAO DOS STD DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%. 138

FIGURA 30 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%.....141

FIGURA 31 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%.....141

FIGURA 32 - EFLUENTE ANTERIOR AO TRATAMENTO POR OR E OS DESCARTES PERMEADO E REJEITO GERADAS APÓS O PROCESSO.....144

FIGURA 33 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%. 148

FIGURA 34 - VARIAÇAO DOS STD DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%. 148

FIGURA 35 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.....150

FIGURA 36 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.....150

FIGURA 37 - EFLUENTE ANTERIOR AO TRATAMENTO POR OR E OS DESCARTES PERMEADO E REJEITO GERADAS APÓS O PROCESSO.....153

FIGURA 38 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%. 156

FIGURA 39 - VARIAÇAO DOS STD NO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%. 157

FIGURA 40 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 75%. 158

FIGURA 41 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 75%. 159

FIGURA 42 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE BRUTO GERADO PELO SISTEMA DE MBR, PERMEADO E REJEITO. 162

FIGURA 43 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR. 164

FIGURA 44 - VARIAÇAO DOS STD NO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR. 164

FIGURA 45 - VAZÃO DE PERMEADO OBTIDA EM CADA UM DOS TESTES EFETUADOS COM AS TAXAS DE RECUPERAÇAO DE 50%, 65% E 75%. 165

FIGURA 46 - VAZÃO TOTAL DE CADA UM DOS TESTES EFETUADOS COM AS TAXAS DE RECUPERAÇAO DE 50%, 65% E 75%. 165

FIGURA 47 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE REMOÇAO DE 50%. 170

FIGURA 48 - VARIAÇAO DOS STD NO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE REMOÇAO DE 50%. 170

FIGURA 49 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%. 172

FIGURA 50 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%. 172

FIGURA 51 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE DE ALIMENTACAO DA OR O QUAL CORRESPONDE AO EFLUENTE FINAL TRATADO, PERMEADO E REJEITO. 175

FIGURA 52 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 180

FIGURA 53 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 180

FIGURA 54 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE DE ALIMENTACAO DA OR O QUAL CORRESPONDE AO EFLUENTE FINAL TRATADO, PERMEADO E REJEITO. 182

FIGURA 55 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE O TESTE O EFLUENTE RETRATADO E COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 187

FIGURA 56 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE O TESTE O EFLUENTE RETRATADO E COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 187

FIGURA 57 - FILTROS DE CARTUCHO MO MOMENTO DE SUA TROCA 188

FIGURA 58 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE DE ALIMENTACAO DA OR O QUAL CORRESPONDE AO EFLUENTE FINAL TRATADO, PERMEADO E REJEITO. 189

FIGURA 59 - VARIAÇÃO DAS VAZÕES DE PERMEADO NOS TESTES COM OS EFLUENTES TRATADO PELO MBR, EFLUENTES TRATADO PELA EMPRESA E EFLUENTE RETRATADO, TODOS COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 196

FIGURA 60 - VARIAÇÃO DAS VAZÕES TOTAIS NOS TESTES COM OS EFLUENTES TRATADO PELO MBR, EFLUENTES TRATADO PELA EMPRESA E EFLUENTE RETRATADO, TODOS COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 196

FIGURA 61 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE SOB AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR QUE GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR. 202

FIGURA 62 - VARIAÇAO DOS STD SOB AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR QUE GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR.....202

FIGURA 63 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR AS QUAIS GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR.....204

FIGURA 64 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR AS QUAIS GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR....204

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CRITÉRIOS DE QUALIDADE REQUERIDA PARA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE AQUECEDORES E CALDEIRAS E TORRE DE RESFRIAMENTO.....38

TABELA 2 - RENDIMENTOS ESPERADOS PARA TRATAMENTOS SECUNDÁRIOS DE EFLUENTES POR MICROFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO. 60

TABELA 3 - VALORES DE REMOÇÃO NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO POR NANOFILTRAÇÃO E OSMOSE REVERSA.....61

TABELA 4 - EFICÁCIA DE ALGUMAS ESTRATÉGIAS DE LIMPEZA DE MEMBRANAS PARA REMOÇÃO DE DEPÓSITOS. 73

TABELA 5 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR. 137

TABELA 6 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES NA CONDIÇAO DE R=50%. 140

TABELA 7 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO. 142

TABELA 8 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS PARA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO 01 143

TABELA 9 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR. 147

TABELA 10 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES NA CONDIÇAO DE R=65%. 149

TABELA 11 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO. 151

TABELA 12 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS PARA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO 02.....152

TABELA 13 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR.....155

TABELA 14 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%.....158

TABELA 15 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO 160

TABELA 16 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS PARA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO 03.....160

TABELA 17 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR.....169

TABELA 18 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%. 171

TABELA 19 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO 173

TABELA 20 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA OS TESTES COM EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%. 174

TABELA 21 - PARÂMETROS MONITORADOS DURANTE O PROCESSO DE OR. 178

TABELA 22 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE O TESTE COM O EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%. 178

TABELA 23 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO. 179

TABELA 24 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA O TESTE COM EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 181

TABELA 25 - QUALIDADE FINAL DO EFLUENTE TRATADO E APÓS O SEU RETRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO. 184

TABELA 26 - PARÂMETROS MONITORADOS DURANTE O PROCESSO DE OR. 185

TABELA 27 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE O TESTE COM O EFLUENTE RETRATADO E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%. 186

TABELA 28 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA OS TESTES COM EFLUENTE RETRATADO E TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%. 189

TABELA 29 - QUALIDADE DAS ÁGUAS OBTIDAS PELO TRATAMENTO POR PROCESSO DE OSMOSE REVERSA. 192

TABELA 30 - EFICIENCIAS DE REMOÇÃO DOS DIFERETES EFLUENTES DURANTE A OPERAÇAO DA OR COM TAXA DE RECUPERACÃO DE 65%. 193

TABELA 31 - VARIAÇAO DAS VAZÕES OBTIDAS NOS TESTES COM OS DIFERENTES EFLUENTES DURANTE A OPERAÇAO DA OR COM TAXA DE RECUPERACÃO DE 65%. 195

TABELA 32 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA DOS DIFERETES EFLUENTES BRUTOS QUE ALIMENTARAM O SISTEMA DE OR COM TAXA DE RECUPERACÃO DE 65%. 197

TABELA 33 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR SOB A CONDIÇAO DE A/M APLICADA NO MBR IGUAL A 0,2.....199

TABELA 34 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR SOB A CONDIÇAO DE A/M APLICADA NO MBR IGUAL A 0,3.....200

TABELA 35 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR SOB A CONDIÇAO DE A/M APLICADA NO MBR IGUAL A 0,4.....201

TABELA 36 - VARIAÇÃO DAS VAZÕES DE PERMEADO E REJEITO PARA OS TESTES1 E 2 EFETUADOS COM OS DIFERENTES A/M.....203

TABELA 37 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS COMPOSTOS ANALISADOS NO EFLUENTE BRUTO E NO PERMEADO SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS APLICADAS. 205

TABELA 38 - ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DURANTE A OPERAÇÃO DA OSMOSE REVERSA SOB AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR.....206

TABELA 39 - CONCENTRAÇÕES DOS PRODUTOS QUÍMICOS ADICIONADOS DURANTE O ENSAIO DE JAR-TEST E SEUS DESEMPENHOS.....207

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA FINS URBANOS. 36

QUADRO 2 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS. 39

QUADRO 3 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA FINS RECREACIONAIS 41

QUADRO 4 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA PRESERVAÇÃO DA FAUNA E DA FLORA..... 41

QUADRO 5 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PROCESSOS DE MEMBRANAS. 44

QUADRO 6 - CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DOS PROCESSOS DE MEMBRANA APLICADOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES. 45

QUADRO 7 - PROPRIEDADES DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MEMBRANA. 46

QUADRO 8 - PROPRIEDADES DE MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA. 46

QUADRO 9 - VALORES TÍPICOS DE REJEIÇÃO POR MEMBRANAS COMPOSTAS DE OSMOSE REVERSA DE POLIAMIDA A TEMPERATURA AMBIENTE..... 61

QUADRO 10 - PRINCIPAIS EFEITOS CAUSADOS PELO *FOULING* E *SCALING* SOBRE O SISTEMA DE MEMBRANAS. 66

QUADRO 11 - VALORES DE LSI E OS POSSÍVEIS GRAUS DE INSCRUSTAÇÃO DAS MEMBRANAS..... 72

QUADRO 12 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE MEMBRANAS. 76

QUADRO 13 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE OR..... 84

QUADRO 14 - PRINCIPAIS COMPOSTOS QUE DEVEM SER MONITORADOS NA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE OR E OS LIMITES USUALMENTE TOLERADOS..... 92

QUADRO 15 - PRINCIPAIS CAUSADORES DE *FOULING* E *SCALING* E OS PRÉ-TRATAMENTOS APLICADOS PARA REMOÇÃO DESTES COMPOSTOS DE ÁGUAS DE ALIMENTAÇÃO DE SISTEMA DE OR. 92

QUADRO 16 - PARÂMETROS E SEUS RESPECTIVOS PONTOS DE MONITORAMENTO NO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA. 95

QUADRO 17 - POSSÍVEIS CAUSAS QUE PROVOCAM PREJUÍZO NO DESEMPENHO DOS SISTEMA DE OR E OS RESPECTIVOS EFEITOS QUE ESTAS PROVOCAM. 99

QUADRO 18 - OPÇÕES DE DISPOSIÇÃO DO REJEITO GERADO POR SISTEMAS DE OR.....101

QUADRO 19 - PONTOS DE COLETA, PARÂMETROS ANALISADOS E OS RESPECTIVOS LABOORATÓRIOS EM QUE FORAM ANALISADOS. 132

QUADRO 20 - ENSAIOS REALIZADOS E AS RESPECTIVAS METODOLOGIAS APLICADAS.....133

QUADRO 21 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE APÓS TRATAMENTO POR MBR.....134

QUADRO 22 - COMPARAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS SOB AS TRÊS DIFERENTES CONDIÇÕES DE TAXA DE RECUPERAÇÃO.....166

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - GRADIENTE DE PRESSÃO TRANSMEMBRANA NA FILTRAÇÃO FRONTAL 53

EQUAÇÃO 2 - GRADIENTE DE PRESSÃO TRANSMEMBRANA NA FILTRAÇÃO TANGENCIAL 54

EQUAÇÃO 3 - QUEDA DA PRESSÃO ATRAVÉS DO MÓDULO.....54

EQUAÇÃO 4 - FLUXO DA ÁGUA PELA MEMBRANA 55

EQUAÇÃO 5 - FLUXO DA ÁGUA PELA MEMBRANA 55

EQUAÇÃO 6 - FLUXO DA ÁGUA PELA MEMBRANA 56

EQUAÇÃO 7 - DIFERENÇA DE PRESSÃO ATRAVÉS DA MEMBRANA 56

EQUAÇÃO 8 - DIFERENÇA DA PRESSÃO OSMÓTICA ATRAVÉS DA MEMBRANA 56

EQUAÇÃO 9 - BALANÇOS DE FLUXO EM SISTEMAS DE FILTRAÇÃO TANGENCIAL 57

EQUAÇÃO 10 - BALANÇOS DE MASSA EM SISTEMAS DE FILTRAÇÃO TANGENCIAL 57

EQUAÇÃO 11- RECUPERAÇÃO DE UM SISTEMA CONSISTE 58

EQUAÇÃO 12 - REJEIÇÃO DO SISTEMA 59

EQUAÇÃO 13 - PASSAGEM DOS SAIS POR ENTRE A MEMBRANA 59

EQUAÇÃO 14 - PASSAGEM DOS SAIS POR ENTRE A MEMBRANA 59

EQUAÇÃO 15 - COEFICIENTE DE REJEIÇÃO ATRAVÉS DE FUNÇÃO LOGARÍTMICA 60

EQUAÇÃO 16 – ÍNDICE DE SATURAÇÃO DE LANGELIER (LSI) 71

EQUAÇÃO 17 – PH_A.....72

EQUAÇÃO 18 – ÍNDICE DE SATURAÇÃO DE STIFF-DAVIS (SDSI).....73

EQUAÇÃO 19 RELAÇÃO ALIMENTO/MICROORGANISMO 79

LISTA DE SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/M	Relaçao entre alimento e microorganismo no lodos ativados
CIP	*Cleaning in Place*
COA	Carbono Orgânico Assimilável
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	*Environmental Protection Agency*
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAO	*Food and Agriculture Organization*
GPM	Unidade de Vazão - Galões por Minuto
GE	*General Electric Company*
Hz	Hazen – Unidade de Cor
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
K1	Aterro Industrial dos Resíduos Perigosos
K 2	Aterro Industrial dos Resíduos Não Perigosos
LABEAM	Laboratório de Engenharia Prof. Francisco Borsari Netto
LSI	Índice de Saturação de Langelier
mca	Unidade de Pressão - Metros de coluna d'água
MF	Microfiltração
MFI	*Modified Fouling Index*
MPFI	*Mini-plugging factor Index*
MBR	Reator Biológico de Membrana
NF	Nanofiltração
NMP/100mL	Número mais provável de Coliformes em 100 mL
NTU	Unidade de Nefelométrica de Turbidez
OR	Osmose Reversa
PSM	Processo de Separação por Membranas

PVC	Cloreto de Polivinila
R	Recuperação
rpm	Rotações por minuto
SDI	*Silt Index Density*
SDSI	Índice de Saturação de Stiff-Davis
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SSVTA	Sólidos Suspensos Voláteis no Tanque de Aeração
TFC	*"Thin Film Composite"*
UF	Ultrafiltração
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 26

2 OBJETIVOS 30

2.1 OBJETIVO GERAL 30

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 30

3 REVISÃO DE LITERATURA 31

3.1 O REUSO DA ÁGUA 31

3.2 TIPOS DE APLICAÇÕES DA ÁGUA DE REUSO 34

3.2.1 Reuso planejado para fins não potáveis 34

3.2.1.1 Reuso planejado de água para fins urbanos 34

3.2.1.2 Reuso planejado de água para fins industriais 36

3.2.1.3 Reuso planejado de água para fins recreacionais 40

3.2.1.4 Reuso de água planejado para preservação da fauna e da flora 41

3.3 MEMBRANAS FILTRANTES 42

3.3.1 Introdução 42

3.3.2 Classificação dos processos de separação por membranas 44

3.3.2.1 Materiais de Fabricação das Membranas 45

3.3.2.2 Força Aplicada 47

3.3.2.3 Mecanismos de remoção 47

3.3.2.4 Porosidade e tamanho nominal das partículas 47

3.3.3 Configuração das membranas 48

3.3.3.1 Módulos espirais 49

3.3.3.2 Módulos de fibra oca 51

3.3.4 Operação de Membranas 52

3.3.4.1 Filtração frontal e tangencial 52
3.3.4.2 Fluxo 55
3.3.4.3 Recuperação de um sistema 58
3.3.4.4 Rejeição 59
3.3.5 Fatores que influenciam o fluxo de água pelas membranas 62
3.3.5.1 Polarização por Concentração 63
3.3.5.2 Fouling e Scaling 65
3.3.5.3 Compostos formadores de *Fouling* 67
3.3.5.3.1 Depósito e acúmulo de partículas 67
3.3.5.3.2 Precipitação orgânica 68
3.3.5.3.3 *Fouling* biológico 68
3.3.5.4 Compostos formadores de *Scaling* 69
3.3.5.5 Indicadores de *fouling* e *scaling* 71
3.3.6 Limpezas 73
3.3.6.1 Limpeza Hidráulica 74
3.3.6.2 Limpeza Química 74
3.3.7 Aplicações das membranas 75
3.3.7.1 Aplicação de membranas no reuso de água 77
3.3.7.1.1 Reator Biológico de Membrana 77
3.4 OSMOSE REVERSA 82
3.4.1 Princípio de Operação 82
3.4.2 Componentes de um sistema 83
3.4.2.1 Qualidade da água de alimentação 84
3.4.2.1.1 Sólidos suspensos totais 85

3.4.2.1.2 Microorganismos 86
3.4.2.1.3 Compostos Orgânicos 86
3.4.2.1.4 Cor 87
3.4.2.1.5 Metais 88
3.4.2.1.6 Sulfeto de Hidrogênio 88
3.4.2.1.7 Sílica 89
3.4.2.1.8 Carbonato de Cálcio 89
3.4.2.1.9 Cloro 90
3.4.2.1.10 Cálcio 91
3.4.3 Tecnologias de Pré-tratamento 91
3.4.4 Operação de sistemas 93
3.4.4.1 Arranjos 93
3.4.5 Monitoramento 94
3.4.5.1 Temperatura 95
3.4.5.2 Condutividade 96
3.4.5.3 Pressão 97
3.4.5.4 Vazão 98
3.4.6 Desempenho dos sistemas de OR 98
3.4.7 Disposição do Rejeito 99
4 MATERIAIS E MÉTODOS 103
4.1 MATERIAIS 103
4.1.1 Estação de Tratamento de Efluentes 103
4.1.2 Água residuária 106
4.1.3 Reator Biológico de Membrana 107

4.1.4 Osmose Reversa 110
4.1.4.1 Tanque de Armazenamento 111
4.1.4.2 Bomba de alimentação 113
4.1.4.3 Bomba dosadora de anti-incrustante 113
4.1.4.4 Filtro de cartucho 114
4.1.4.5 Bomba de Pressurização 115
4.1.4.6 Membranas 116
4.1.4.7 Instrumentação 117
4.1.5 Sistema de Lavagem Química 118
4.1.6 Ensaio Físico-Químico 120
4.1.7 Equipamentos 121
4.2 MÉTODOS 122
4.2.1 Determinação do tempo de operação 122
4.2.2 Operação da Osmose Reversa 123
4.2.3 Lavagem Química 124
4.2.4 Efluente tratado por processo de MBR com membranas de UF 127
4.2.5 Efluente Tratado por processo de Lodos Ativados 129
4.2.6 Efluente Retratado por processo Físico-Químico 130
4.2.7 Ensaio de Jar Test 130
4.2.8 Análises Físico-Químicas 131
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 134
5.1 EFLUENTE APÓS O TRATAMENTO POR MBR 134
5.1.1 Caracterização do Efluente 134
5.1.2 Comportamento dos parâmetros 135

5.1.2.1 Taxa de Recuperação de 50 %.....135

5.1.2.2 Taxa de Recuperação de 65%.....145

5.1.2.3 Taxa de Recuperação de 75%.....154

5.2 COMPARAÇAO DOS EFLUENTES APÓS TRATAMENTO POR MBR.....162

5.3 EFLUENTE TRATADO POR PROCESSO DE LODOS ATIVADOS.....166

5.3.1 Comportamento dos Parâmetros.....166

5.3.1.1 Taxa de Recuperação de 50%.....167

5.3.1.2 Taxa de Recuperação de 65 %.....176

5.4 EFLUENTE RETRATADO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO.....183

5.4.1 Caracterização do efluente.....183

5.4.2 Comportamento dos Parâmetros.....184

5.5 PERÍODO DE COLMATAÇÃO DAS MEMBRANAS.....191

5.6 COMPARAÇAO ENTRE OS EFLUENTES TESTADOS.....191

5.7 EFLUENTE TRATADO PELO MBR COM DIFERENTES A/M NO INTERIOR DO REATOR.....198

5.8 RESULTADO DO ESTUDO PERSPECTIVO DO REJEITO COM O JAR TEST.....207

6 CONCLUSÕES.....208

7 RECOMEDAÇÕES.....211

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....212

APÊNDICE A - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%.....219

APÊNDICE B – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.....221

APÊNDICE C – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%.....223

APÊNDICE D - CONDUTIVIDADE OBTIDA NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR.....225

APÊNDICE E - STD OBTIDOS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR. 227

APÊNDICE F – VARIAÇÃO DAS VAZÕES NOS TESTES REALIZADOS COM O MBR. 229

APÊNDICE G – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELA ETE DA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%. ... 231

APÊNDICE H – CONDUTIVIDADE DOS DIFERENTES EFLUENTES A UMA TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%. 233

APÊNDICE I – STD DOS DIFERENTES EFLUENTES A UMA TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%. 235

APÊNDICE J – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS DIFERENTES EFLUENTES OPERADOS PELA OSMOSE REVERSA, COM TAXA DE 65% DE RECUPERACÃO. 237

ANEXO A - RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. 239

ANEXO B - FLUXOGRAMA DO PROCESSSO DE TRATAMENTO EXISTENTE NA EMPRESA. 240

ANEXO C - FLUXOGRAMA DAS PLANTAS PILOTOS INSTALADAS PARA ESTE ESTUDO. 241

1 INTRODUÇÃO

A água possui um valor inestimável. Além de ser um insumo indispensável à produção e um recurso estratégico para o desenvolvimento econômico, a água constitui um fator determinante na manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que garantem equilíbrio aos ecossistemas.

O Brasil é um país privilegiado detendo aproximadamente 13,7% das reservas de água doce de superfície do Planeta do total de 2,5% disponível. Diante destes números e da abundância que estes transmitem quando avaliados em escala mundial, a sociedade brasileira, em sua grande maioria, desenvolveu a consciência de inesgotabilidade deste recurso permitindo-se viver de maneira confortável e longe dos princípios de sustentabilidade, demonstrando despreocupação com relação a escassez. Porém a realidade atual torna a água uma das mais valiosas mercadorias do século 21, sendo a sua escassez relacionada não só a quantidade de água existente, mas sim a sua qualidade e ao seu modo de utilização.

Conforme estudos realizados pela Food and Agriculture Organization (FAO, 2007) aproximadamente 2 bilhões de pessoas, em 2025, estarão privadas do acesso à água passível de uso humano devido. Isto ocorrerá devido não só ao crescimento da população e das atividades econômicas, o que consequentemente implica no aumento da demanda, mas também devido a redução da oferta que esta condicionada especialmente ‘a poluição dos mananciais, ao desperdício e a má administração dos recursos naturais.

No Brasil, durante muitos anos a falta de legislação vigente somada a ineficiência dos órgãos de fiscalização quanto ao rigoroso cumprimento da lei pelos centros urbanos e pelas indústrias brasileiras, permitiu que nossas águas fossem contaminadas durante décadas e colaborou ainda para o uso irracional e exacerbado da parcela de água superficial disponível.

Atualmente muitos já padecem de falta de água, sendo este um problema que não mais atinge apenas a população das regiões áridas e secas do país. A necessidade de racionalização é um fato e a exposição do homem a esta realidade tem lentamente provocado mudanças de hábito e de conscientização deste com o meio ambiente. Melhores perspectivas são observadas também no setor industrial,

em que a preocupação e a atenção destinada a questões que envolvam princípios éticos e imagem institucional têm possibilitado não só o enquadramento das empresas na legislação federal como proporcionado posturas mais corretas destas junto ao ambiente.

Pesquisas relacionadas aos efeitos causados pelo potencial tóxico e ação biológica de substâncias encontradas nos diferentes efluentes bem como o conhecimento dos processos pelos quais estas substâncias podem ser removidas, tornam cada dia mais restritos os limites relacionados aos padrões de lançamento e de toxicidade dos efluentes. Por este motivo faz-se necessário o aperfeiçoamento dos tratamentos convencionais e dos processos de tratamento avançados.

A finalidade dos tratamentos avançados é de um tratamento adicional para remoção de partículas suspensas, coloidais e dissolvidas que ainda estão presentes no efluente após tratamento secundário, sendo este último grupo composto por partículas simples tais como íons inorgânicos, até uma crescente quantidade de compostos orgânicos sintéticos de alta complexidade, como detergentes, pesticidas, fenóis e alguns corantes (METCALF & EDDY, 2003). Sua adoção é diretamente dependente da aplicação ou destino final do efluente tratado.

O processo de separação de membrana consiste em uma destas tecnologias permitindo a remoção de partículas sólidas de pequenos diâmetros, moléculas e até mesmo compostos iônicos dissolvidos. Estes processos já são vastamente aplicados em sistemas de tratamento de água e aos poucos estão ganhando espaço também nas estações de tratamento de efluentes, devido a alta capacidade de remoção de compostos de modo a adequar o efluente tratado, não só aos padrões de lançamento, como também torná-lo possível de ser reutilizado.

Uma vez que os contaminantes presentes, principalmente no lixiviado gerado pelos aterros industriais, são em sua maioria de difícil tratabilidade, apenas o tratamento biológico convencional por Lodos Ativados não é suficiente para adequar o efluente as padrões de lançamento. Segundo Peters (1996), mesmo combinando o tratamento biológico com um processo avançado, tal como adsorção por carvão ativado ou oxidação de parte da matéria orgânica por ozônio, somente uma parcela dos contaminantes será destruída, porém o tratamento necessário para reduzir o impacto deste efluente ao meio ambiente não será atingido.

Um dos aspectos que contribui para isto é a presença elevada de compostos orgânicos não biodegradáveis, os quais são representados pelos altos valores de DQO, não sendo removidos apenas pelos processos acima descritos, se fazendo presentes, portanto, no efluente final tratado.

A crescente preocupação com o meio ambiente e o aumento no vigor dos parâmetros de monitoramento devido aos impactos causados por variadas substâncias lançadas no meio ambiente após tratamento secundário, impulsionam o avanço de novas tecnologias e o estudo através de projetos pilotos e experimentos laboratoriais.

Este trabalho foi desenvolvido em um Centro de Tratamento de Resíduos Industriais localizado na Cidade Industrial de Curitiba, que atua na área de coleta, tratamento e destinação final dos mais variados resíduos, apresentando assim um efluente tanto com contaminantes tóxicos orgânicos como inorgânicos. Os padrões de qualidade de seu efluente tratado são monitorados pelo órgão ambiental do Estado do Paraná, o IAP, sendo os padrões de lançamento determinados pela resolução CONAMA nº 357/2005.

A empresa, em questão, consiste em uma unidade comprometida com o desenvolvimento sustentável e o meio ambiente. Procura oferecer soluções tanto para os resíduos líquidos quanto para os resíduos sólidos e, ao mesmo tempo, busca soluções que diminuam o impacto ambiental gerado pelas atividades produtivas para as gerações futuras.

Os resíduos industriais tratados pela empresa estão classificados, segundo a norma NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em Resíduos Classe I e Classe II. Tratados em linhas distintas, os resíduos Classe I são comumente conhecidos como sendo os perigosos, apresentando características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podendo, portanto, ser nocivo a saúde humana. Os resíduos Classe II, por sua vez, consistem nos não perigosos e estão subdivididos em 2 classes: Classe II A composta pelos resíduos inertes, e Classe II B, composta pelos resíduos não inertes.

O lançamento de um efluente tratado fora dos padrões de qualidade exigidos pelo órgão vigente para determinado corpo hídrico, além de provocar um prejuízo à empresa, a qual terá que pagar multas elevadas, causa grandes impactos ao meio ambiente. A presença de residuais de compostos orgânicos e inorgânicos nesta

água afeta principalmente a vida aquática, porém a sociedade não esta isenta de suas consequências.

Diante deste contexto e da possibilidade de um tratamento através da tecnologia de membranas permitir que este efluente, não só apresente os padrões necessários para ser lançado na natureza mas também possibilite sua reutilização para outra finalidade, foi desenvolvido um estudo de caso na unidade.

Para este estudo a tecnologia de Osmose Reversa foi aplicada em uma das etapas do tratamento de efluentes. Três diferentes efluentes foram testados e a qualidade da água tratada foi comparada e avaliada quanto aos padrões de lançamento definidos pela resolução nº357 do CONAMA e padrões de reuso segundo critérios determinados pelo U.S EPA (2004). Caso este último fosse possível, algumas aplicações foram sugeridas para sua aplicação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Testar a tecnologia de Osmose Reversa utilizando diferente efluentes obtidos na ETE de um Centro de Tratamento de Resíduos, de modo a adequar o efluente final tratado aos padrões de lançamento de acordo com a resolução CONAMA n° 357, aos valores máximos de DQO e DBO respectivamente de 300mg/L e 50 mg/L, e ainda, aos padrões de água de reuso para reaproveitamento em atividades que não exigem água potável, segundo os critérios determinados pela U.S. EPA (2004).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Aplicar tecnologia de membrana de Osmose Reversa nos efluentes após tratamento por MBR, após tratamento pela ETE da empresa e efluente final retratado pelo processo físico químico, de modo a comparar a qualidade dos efluente finais ou águas de reuso obtidas apõs o tratamento de cada um deles;
b) Identificar o potencial ao *fouling* ou *scaling através* da análise dos compostos presentes na água de alimentação e do tempo de colmatação da membrana para cada um dos diferentes efluentes testados;
c) Verificar se há variação na operação da Osmose Reversa quando parâmetros biológicos no interior do reator de membrana que antecede o sistema são alterados;

3 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão bibliográfica apresenta inicialmente uma breve abordagem sobre as classificações e diretrizes para o reuso da água. Na sequência os processos com membranas são conceituados e uma breve abordagem é feita quanto as suas características e aplicações. E por fim uma seção é dedicada especialmente para tecnologia de Osmose Reversa, sendo abordado os padrões de qualidade de água de alimentação e eventuais questões operacionais relacionadas a tecnologia.

3.1 O REUSO DA ÁGUA

O reuso, técnica esta que até pouco tempo atrás não era considerada como uma opção para obtenção de água, atualmente consiste em uma prática em ascendência e contínua exploração, principalmente pelo mercado industrial. Os altos valores cobrados pela água, a cobrança pelo volume de efluente tratado lançado no corpo hídrico, instituído pela Lei Federal nº 9.433, de 08/01/97; e a exigência por uma qualidade de efluente tratado cada vez melhor, tem colaborado pela busca de tecnologias mitigadoras e alternativas viáveis de aumento da sua oferta.

O Brasil caminha aos poucos em busca da sustentabilidade, principalmente no que se refere ao uso inteligente da água, ao controle ambiental e conseqüentes vantagens sõcio-econômicas porém, embora reconheça-se que o reuso constitui-se na melhor opção para a racionalização dos recursos hídricos, esta técnica, além de estar condicionada ao custo X benefício, depende ainda da aceitação popular, aprovação mercadológica e vontade política para efetivá-la como uma tecnologia sistemática (TELLES e COSTA, 2010)

Quando se define a qualidade de um produto, entende-se que ele esteja dentro de um conceito normativo, aprovado para um determinado fim e seja capaz de satisfazer uma necessidade. Para isto exige-se o conhecimento de suas características e seus efeitos, tendo-se em vista os usos pretendidos ou praticados,

devendo-se também conhecer os riscos que podem apresentar para a saúde e meio ambiente. Uma vez que a prática de reuso pode ser amplamente aplicada em atividades que tolerem uma água com padrão de qualidade inferior a água potável , sua adoção em época de escassez pode ser uma das alternativas para sobrevivência da humanidade (MANCUSO E SANTOS, 2003; MIERZWA e HESPANHOL, 2005, TELLES e COSTA, 2010).

A reciclagem ou reuso de água não é um conceito novo na história do nosso planeta. Além da natureza, por meio do ciclo hidrológico, vir reciclando e reutilizando eficientemente a água há milhões de anos, inúmeros já foram os trabalhos publicados e que abordaram o conceito de reuso e suas possíveis aplicações.

O reuso consiste basicamente no aproveitamento do efluente tratado, para suprir as necessidades de outros usos benéficos sendo estes os originais ou não, porém o conceito mais antigo de reuso de água foi determinado em 1973 pela Organização Mundial da Saúde (WHO) e divide o reuso em três categorias:

a) Reuso Indireto: É quando o efluente tratado é lançado em uma corpo hídrico ou em águas subterrâneas e utilizado a jusante, de forma diluída.
b) Reuso Direto: Consiste na utilização racional e planejada do esgoto devidamente tratado, sem que haja a intervenção ou mistura deste com águas naturais. O esgoto tratado segue da ETE diretamente para o local onde a água reciclada será aplicada podendo esta atividade ser: irrigação, uso industrial, recarga de aqüíferos.
c) Reciclagem : É o reuso da água internamente à instalações industriais para uso original, antes de sua descarga em um sistema de tratamento ou outro ponto qualquer de disposição, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Esta mesma referência diferencia ainda o reuso indireto intencional do não intencional estabelecendo que, quando o reuso indireto decorre de descargas planejadas a montante, ou a recargas planejadas no aqüífero subterrâneo, tem-se o reuso indireto intencional.

Em 1985, Montgomery J.M. publicou em seu livro *Water Treatment Principles & Design* definições de reuso substituindo a palavra "intencional" por "planejada" e a expressão "não intencional" por "não planejada". Desta forma, entende-se como

reuso planejado o resultado de uma ação consciente do homem, com a existência de um sistema de tratamento que não só atenda os padrões legais de lançamento no meio ambiente como também os padrões de qualidade requeridos para reuso daquela água, uma vez que estes são determinados baseados na atividade a qual a água será aplicada. O reuso planejado direto ocorre quando o efluente, devidamente tratado, é destinado diretamente para o local onde será reutilizado, sem ser descarregado no ambiente em momento algum. Durante o percurso os padrões de qualidade exigidos para reutilização deverão ser mantidos. O reuso planejado indireto, por sua vez, engloba o controle de qualidade de eventuais descargas que possam ocorrer durante o transporte desta água (METCALF & EDDY, 2003).

O reuso "não planejado" refere-se ao reuso ser apenas um subproduto não intencional da descarga deste sistema de tratamento. o efluente é descarregado no meio ambiente, e novamente utilizado a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada, podendo ter sofrido a autodepuração natural do meio (METCALF & EDDY, 2003).

Não bastassem as expressões já citadas, Westerhoff (1984) atribui, ainda, mais duas formas de classificação de reuso sendo estas: reuso potável e reuso não potável.

Por sua praticidade e facilidade, a classificação por Reuso Potável e Reuso não Potável de Água foi adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), sendo subdividida em 2 categorias:

a) Reuso Potável Direto: Consiste em incorporar o efluente tratado diretamente aos sistemas de água potável, após aplicação de tratamentos avançados. Normalmente há uma mistura do efluente tratado com água potável.
b) Reuso Potável Indireto: Consiste em lançar o efluente tratado em um ponto de captação de água bruta, ou seja, lançá-lo no corpo hídrico ou em águas subterrâneas, de maneira que ocorra a mistura, diluição e purificação natural deste efluente tratado e posteriormente a captação, o tratamento e utilização desta água como potável.

3.2 TIPOS DE APLICAÇÕES DA ÁGUA DE REUSO

Segundo U.S. EPA (2004), o reuso da água pode ser aplicado nas seguintes categorias:

a) Água para uso urbano
b) Água para uso industrial
c) Água para uso na agricultura
d) Água para preservação da fauna e da flora e fins recreacionais
e) Recarga de aqüíferos
f) Contribuição no abastecimento de água potável

3.2.1 Reuso planejado para fins não potáveis

A finalidade da utilização de esgoto tratado para atividades específicas consiste em racionalizar água potável, destinando esta apenas para as atividades que realmente exijam água segundo os padrões de potabilidade.

3.2.1.1 Reuso planejado de água para fins urbanos

As considerações relevantes quanto ao reuso de água para fins urbanos consistem na segurança dos processos e na proteção a saúde humana, principalmente quando há contato direto entre ambos. O efluente de origem essencialmente doméstica ou algum outro com características similares facilitam a viabilização do reuso para estas finalidades.

Segundo U.S EPA (2004) o reuso urbano não potável é subdividido em 2 categorias as quais determinam os critérios da qualidade final da água. São estas:

utilização de água de reuso em áreas de acesso restrito ao público e em áreas de acesso irrestrito.

O uso da água de reuso em áreas de acesso irrestrito envolve o contato direto do público com a água reutilizada, exigindo assim um maior grau de qualidade desta. As atividades que se enquadram nesta categoria são: Irrigação de parques públicos, jardins, gramados, centros recreacionais, *playgrounds,* campos de futebol, áreas de acesso público rodeados por prédios comerciais ou lojas de conveniência, ar condicionado, limpeza das ruas, fontes de praças ou outros sistemas aquáticos decorativos, hidrantes para proteção contra fogo, descargas sanitária, construção civil, entre outras atividades em que o contato da água de reuso com o público não é controlado.

A aplicação de água de reuso em áreas restritas, no entanto, contempla as seguintes atividades: irrigação de campos de golfe, de parques fechados, de rodovias intermediárias, cemitérios, lavagem de carros, vidros e lavanderias, em lavanderias, lavagem de vidros, entre outros. Para estes fins o grau de tratamento da água de reuso não necessita ser tão rigoroso, visto que o contato humano com esta água poderá ser feita de maneira controlada (U.S. EPA, 2004).

A U.S EPA sugere em seu guia de reuso da água parâmetros físico químicos e biológicos de qualidade para países que não possuem legislação própria que determine os limites de qualidade da água de reuso de acordo com sua aplicação. O Quadro 1 apresenta os critérios e diretrizes para prática do reuso de água em áreas urbanas.

A prática de reuso já é aplicada em diversos países dos Estados Unidos, da Europa e da Ásia. Porém em nosso país a técnica de reuso ainda esta associada a iniciativas isoladas, a maioria das quais, em setores privados. O fato da necessidade de dupla rede de distribuição de água, sendo uma das redes alimentada por água potável e a outra por esgoto tratado a nível terciário, torna sua aplicação burocrática. Além disso, envolve também a aceitação pública, a qual, aos poucos, esta mudando (MANCUSO e SANTOS, 2004; MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Tipo de reúso	Tratamento	Qualidade da água recuperada	Monitoramento da água recuperada	Distância mínima de proteção
Reúso Urbano Todos os tipos de áreas paisagísticas para irrigação (Ex.: campos de golfe, parques, cemitérios). Também lavagem de veículos, descarga sanitária, sistemas de proteção contra incêndio, ar condicionado e outros usos com acesso ou exposição similar a água.	-Secundário; -Filtração; - Desinfecção.	-pH=6-9; - <= 10 mg/L DBO; - <= 2 NTU; - Coliformes fecais não detectáveis em 100ml; - 1 mg/L Cl_2 residual (mínimo).	- pH - semanal; - DBO - semanal; - Turbidez - contínua; - Coliformes - diário; - Cl_2 residual - contínuo.	- 15 metros de fontes fornecedoras de água potável.
Construção Civil Compactação de solo, controle de poeira, lavagem de agregados e confecção de concreto.	-Secundário; - Desinfecção;	- <= 30 mg/L DBO; - <= 30 mg/L SST; - <= 200 coliformes fecais em 100 mL; - 1 mg/L Cl_2 residual (mínimo).	- DBO - semanal; - SST - diário; - Coliformes - diário; - Cl_2 residual - contínuo.	
Reservatórios e/ou lagos para paisagismo Reservatórios e lagos de função estética onde o contato público com a água não é permitido.	- Secundário; - Desinfecção;	- <= 30 mg/L DBO; - <= 30 mg/L SST; - <= 200 coliformes fecais em 100 mL; - 1 mg/L Cl_2 residual (mínimo).	- pH - semanal; - SST - diário; - Coliformes - diário; - Cl_2 residual - contínuo.	- Mínimo de 150 metros de distância de fontes de água potável se fundo não for impermeável.

QUADRO 1 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA FINS URBANOS. FONTE: U.S EPA (p.167).

3.2.1.2 Reuso planejado de água para fins industriais

As atividades industriais no Brasil respondem por aproximadamente 20% do consumo de água, sendo que, pelo menos 10% é extraída diretamente de corpos d'água e mais da metade é tratada de forma inadequada ou não recebe nenhuma forma de tratamento. O reuso e a reciclagem de água nas indústrias consistem em técnicas sustentáveis que vem crescendo substancialmente desde os anos 90,

impulsionados pela escassez de água e, consequentemente, pelo elevado valor deste insumo (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Segundo o *Manual de Conservação para Reuso de Água*, editado pela FIESP/CIESP, a viabilização desta prática ocorre devido as diversas possibilidades de aplicações no setor industrial as quais não exigem o uso de água potável, tais como:

a) Matéria Prima: A água de reuso será incorporada ao produto final. Sendo assim o volume utilizado e a qualidade necessária dependerão do segmento da indústria em questão, podendo até mesmo exigir um grau de tratamento superior a da água potável.
b) Fluido Auxiliar: A água auxiliará no preparo de suspensões ou soluções, compostos intermediários, reagentes químicos, para lavagem de peças ou ainda servirá como de veículo durante o processo industrial. Sua qualidade é dependente do ramo de atuação da indústria e da etapa a qual a água será aplicada. Caso esta água entre em contato com o produto final, sua qualidade será determinada pelo tipo de produto que se irá obter. Caso contrário, esta poderá apresentar um grau de qualidade menos restritivo que o da água potável.
c) Geração de Calor: Envolve a transformação da energia cinética, potencial ou térmica acumulada na água, em energia mecânica e posteriormente elétrica por meio de caldeiras. Para geração de energia térmica a água deverá apresentar um grau de qualidade bastante elevado, de modo a torná-la isenta de dureza ou, caso seja uma caldeira de alta pressão, de qualquer tipo de sal, para que não ocorram problemas de corrosão e entupimento de tubulações.
d) Torres de Resfriamento: A água é utilizada como fluido de transporte para remoção de calor de misturas reativas ou outros dispositivos que, quando submetidos a temperaturas elevadas, têm o seu desempenho comprometido ou ainda podem danificar equipamentos. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), normalmente são quatro os tipos de problemas relacionados à qualidade da água em operações de torres de resfriamento: incrustações pelo acúmulo de sais, a corrosão metálica,

crescimento biológico causado, por ventura, por microorganismos ou nutrientes presentes em excesso na água e a formação de *fouling* em trocadores de calor e condensadores devido ao acúmulo de depósitos orgânicos e inorgânicos nestes dispositivos.

e) Outros usos: usos não nobres tais como lavagem dos pátios da fábrica, irrigação das áreas verdes, combate a incêndios.

TABELA 1 - CRITÉRIOS DE QUALIDADE REQUERIDA PARA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE AQUECEDORES E CALDEIRAS E TORRE DE RESFRIAMENTO

Características	Caldeiras				Torre de Resfriamento			
					S. Rec. (mg/L)		C. Rec (mg/L)	
	Baixa Pres. (mg/L)	Pres. Interm. (mg/L)	Alta Pres (mg/L)	Util. Elétrica (mg/L)	Água Doce	Água Sal.(a)	Água Doce	Água Sal.(a)
Sílica (SiO_2)	30	10	0,7	0,1	50	25	50	25
Alumínio (Al)	5	0,1	0,001	0,1	(b)	(b)	0,1	0,1
Ferro (Fe)	1	0,3	0,05	0,1	(b)	(b)	0,5	0,5
Manganês (Mn)	0,3	0,1	0,01	0,1	(b)	(b)	0,5	0,02
Cálcio (Ca)	(b)	0,4	0,01	0,1	200	420	50	420
Magnésio (Mg)	(b)	0,25	0,01	0,1	(b)	(b)	(b)	(b)
Amônia (NH_3)	0,1	0,1	0,1	0,07	(b)	(b)	(b)	(b)
Bicarbonato (HCO_3)	170	120	48	0,5	600	140	24	140
Sulfato (SO_4)	(b)	(b)	(b)	(b)	680	2.700	200	2.700
Cloretos (Cl)	(b)	(b)	(b)	(b),(d)	600	19.000	500	19.000
Solidos Dissolvidos	700	500	200	0,5	1000	35.000	500	35.000
Cobre (Cu)	0,5	0,05	0,05	0,01	(b)	(b)	(b)	(b)
Zinco (Zn)	B	0,01	0,01	0,01	(b)	(b)	(b)	(b)
Dureza ($CaCO_3$)	350	1	0,07	0,07	850	6.250	650	6.250
Alcalinidade($CaCO_3$)	350	100	40	1	500	115	350	115
pH	7,0-10,0	8,2-10,0	8,2-9,0	8,8-9,4	5,0-8,3	6,0-8,3	(b)	(b)
ORGÂNICOS								
- Azul de Metileno	1	1	0,5	0,1	(b)	(b)	1	1
- Tetracloreto de Carbono	1	1	0,5	(b),(c)	(e)	(e)	1	2
DQO	5	5	1	1	75	75	75	75
Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)	(b)	(b)	(b)	(b)	-	(b)	(b)	(b)
OD (O_2)	2,5	0,007	0,007	0,007	Pres.	Pres.	(b)	(b)
Temperatura	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Sólidos Suspensos	10	5	0,5	0,05	5.000	2.500	100	100

FONTE: ADAPTADO DE METCALF & EDDY (2003, P.1419-1420).

LEGENDA: (O.D) Oxigênio Dissolvido; (Baixa Pres.) Baixa Pressão; (Alta Pres.) Alta Pressão; (Pres. Interm.) Pressão Intermediária; (Util. Elétrica) Utilidades Elétricas; (S. Rec) Sem recirculação; (C. Rec) Com recirculação (Água Sal.) Água Salobra; (Pres.) Presente.(a) - Concentração de Sólidos

Dissolvidos acima de 1000mg/L (b) - Aceito como recebido;nunca houve problemas com as concentrações ou valores encontrados (c) - Ausente, não detectado por testes (d) - Controlado pelo tratamento de outros constituintes.
NOTA: A menos que não seja indicado pelo fabricante, nenhum dos parâmetros devem exceder os valores acima.

Segundo U.S EPA, nos Estados Unidos a maioria das indústrias localizadas na Califórnia, no Arizona, no Texas, na Flórida e em Nevada utilizam água reutilizada em suas torres de resfriamento e em seus processos de geração de energia. Esta prática tornou-se atrativa devido a sua relativa simplicidade e ao volume de água requerido por tais atividades. A Tabela 1 apresenta o grau de qualidade que deve ser respeitado para reutilização de água em torres de resfriamento e alimentação de aquecedores e caldeiras.

Critérios e diretrizes para o reuso de água no setor industrial também são sugeridos pelo US EPA em seu guia de reuso de água, conforme apresentado no Quadro 2.

Tipo de reúso	**Tratamento**	**Qualidade da água recuperada**	**Monitoramento da água recuperada**	**Distância mínima de proteção**
Reúso Industrial Resfriamento em única passagem (circuito aberto).	- Secundário; - Desinfecção.	- pH = 6-9; - <= 30 mg/L DBO; - <= 30 mg/L SST; - <= 200 coliformes fecais em 100 mL; - 1 mg/L Cl_2 residual (mínimo).	- pH - semanal; - DBO - semanal; - SST - diário; - Coliformes - diário; - Cl_2 residual - contínuo.	- 90 metros de áreas acessíveis ao público.
Reúso Industrial Recirculação em torres de resfriamento.	- Secundário; - Desinfecção (coagulação química e filtração podem ser necessárias).	Variável, dependendo do número de recirculações - pH = 6-9; - <= 30 mg/L DBO; - <= 30 mg/L SST; - <= 200 coliformes fecais em 100 mL; - 1 mg/L Cl_2 residual (mínimo).	- pH - semanal; - DBO - semanal; - SST - diário; - Coliformes - diário; - Cl_2 residual - contínuo.	- 90 metros de áreas acessíveis ao público. Pode ser reduzido ou eliminado se for alcançado um alto grau de desinfecção.

QUADRO 2 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS.
FONTE: U.S EPA (2004, p.168).

Porém, a opinião pública, o aumento do custo da água e as novas legislações associadas aos instrumentos de outorga e cobrança pela utilização dos recursos hídricos, tanto na tomada de água como nos despejos de efluentes, conforme

previsto pela Lei Federal n° 9.433 tem feito com qu e as empresas repensem sobre seu sistema de abastecimento e disposição de água (MANCUSO e SANTOS, 2004).

3.2.1.3 Reuso planejado de água para fins recreacionais

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005) a água para fins recreacionais pode ser utilizada para atividades de contato primário, como para natação, banhos de recreação, esqui aquático e mergulho, ou para atividades de contato secundário, como náutica, canoagem e pesca amadora.

A U.S EPA, considera ainda como sendo um reuso com finalidade recreacional a aplicação desta água para o paisagismo através de irrigação de jardins e parques públicos, utilização em lagos ornamentais ou ainda irrigação de campos esportivos.

A qualidade desta água, da mesma forma que a requerida para fins urbanos, dependerá da restrição das áreas irrigadas quanto ao contato direto com o público.

Para reuso recreacional irrestrito, ou atividades de contato primário, como definido por Mierzwa e Hespanhol (2005), em que o público fica exposto ao contato direto com a água reutilizada, o grau de tratamento necessário é elevado. Porém, em atividades recreacionais de contato secundário, em que há um controle quanto ao contato direto com o público, a qualidade exigida para a água de reuso é inferior.

É importante salientar que quando aplicada a recarga de corpos hídricos, mesmo que para atividades como pesca e canoagem, que são definidas como de contato secundário e que, portanto não exigem tratamento terciário, há necessidade de remoção dos nutrientes, caso estes estejam presentes em quantidades elevadas. Este controle é necessário de modo a evitar a proliferação de algas e manter a boa aparência das mesmas.

Os critérios recomendados pela US EPA para aplicação de água reciclada para estas atividades são apresentadas no Quadro 3.

Tipo de reúso	Tratamento	Qualidade da água recuperada	Monitoramento da água recuperada	Distância mínima de proteção
Reúso Recreacional em lagos e/ou reservatórios Contato acidental (Ex.: pescaria e esportes aquáticos) e todo contato corporal permitido com água recuperada.	-Secundário; -Filtração; - Desinfecção.	-pH=6-9; - <= 10 mg/L DBO; - <= 2 NTU; - Coliformes fecais não detectáveis em 100ml; - 1 mg/L Cl_2 residual (mínimo).	- pH - semanal; - DBO - semanal; - Turbidez - contínua; - Coliformes - diário; - Cl_2 residual - contínuo.	- Mínimo de 150 metros de distância de fontes de água potável se fundo não for impermeável.

QUADRO 3 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA FINS RECREACIONAIS
FONTE: U.S EPA (2004, P.168).

3.2.1.4 Reuso de água planejado para preservação da fauna e da flora

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), Consiste na aplicação desta água em detrimento ao meio ambiente, podendo ser utilizada em habitats naturais, formação de represas ou lagos, na irrigação de plantas, na criação de peixes ou outros animais aquáticos.

Os critérios recomendados pelo U.S. EPA relacionados a aplicação de água reutilizada para este propósito são apresentados no Quadro 4:

Tipo de reúso	Tratamento	Qualidade da água recuperada	Monitoramento da água recuperada
Reúso no meio ambiente Wetlands, pântanos, habitat de animais selvagens, aumento de vazões.	- Variável; - Secundário e desinfecção (mínimo).	- Variável mas não exceder: - <= 30 mg/L DBO; - <= 30 mg/L SST; - <= 200 coliformes fecais em 100 mL.	- DBO - semanal; - SST - diário; - Coliformes - diário; - Cl_2 residual - contínuo.

QUADRO 4 - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA REUSO DE ÁGUA PARA PRESERVAÇÃO DA FAUNA E DA FLORA.
FONTE: U.S EPA (2004, p.168).

3.3 MEMBRANAS FILTRANTES

3.3.1 Introdução

O processo de separação por membranas consiste em uma tecnologia emergente que apresentou um rápido crescimento nas últimas décadas.

Segundo Nath (2008), nos últimos 40 anos a tecnologia de separação por membranas passou de uma ferramenta laboratorial para um produto industrial de significativo impacto técnico e comercial.

Os primeiros estudos relacionados ao fenômeno de membranas foram realizados por cientistas no século XVIII, porém seu grande avanço se deu a partir de 1960 através da tecnologia de Osmose Reversa para dessalinização da água do mar em regiões áridas, onde havia escassez de água potável. Em 1980 os processos de Nanofiltração, Ultrafiltração e Osmose Reversa já tinham seus processos consagrados para tratamento de água e a partir do início dos anos 90 passaram a ser aplicados na área de saneamento básico (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001; NATH, 2008).

A filtração por membranas consiste em um processo físico de separação de partículas presentes em uma solução, isto é, não envolve processos químicos, biológicos ou trocas térmicas. Uma membrana pode ser definida como sendo uma barreira semipermeável que separa duas fases homogêneas e que; quando tem sua corrente de alimentação submetida e uma força externa, permite a passagem de alguns componentes pela sua superfície (HUMPHREY e KELLER, 1997).

O processo de separação por membranas (PSM) é caracterizado pelo fato da corrente de alimentação ser dividida em duas correntes distintas, sendo a parcela retida pela superfície denominada de rejeito ou concentrado, e a parcela que atravessa a membrana de permeado, conforme Figura 1 (MULDER, 1996).

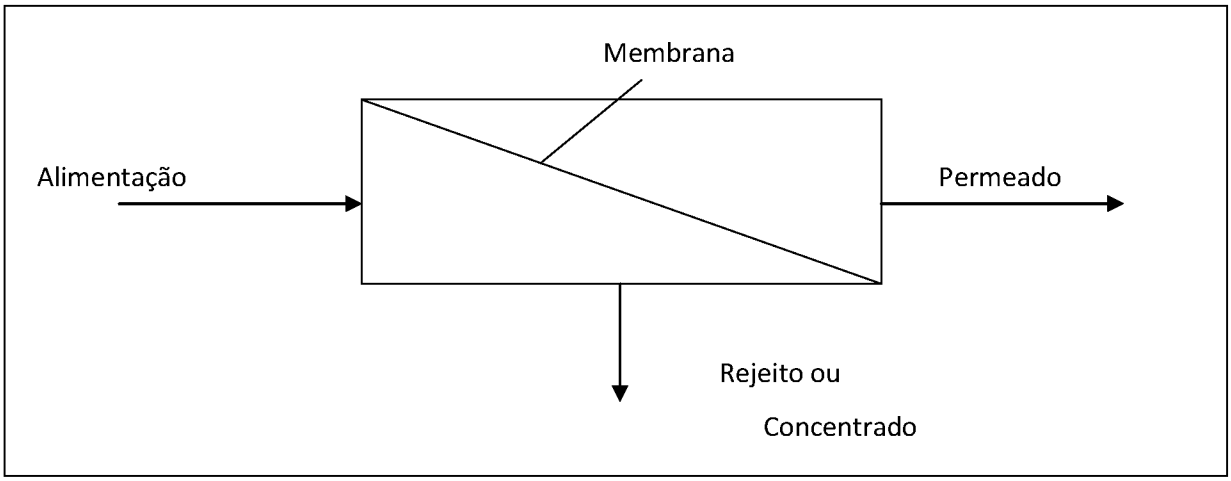


FIGURA 1 - PROCESSO SIMPLES DE MEMBRANAS.
FONTE: ADAPTADO DE HUMPHREY E KELLER (1997).

Segundo Scott e Hughes (1996) as principais vantagens do PSM com relação as tecnologias convencionais existentes no mercado são:

a) Simplicidade no processo podendo operar continuamente ou em batelada dependendo da necessidade;
b) Sistema modular o que facilita ampliações futuras;
c) O processo de separação não envolve mudança de fase.

Schneider e Tsutiya (2001) ressaltam ainda que uma das maiores contribuições da tecnologia de membranas é a viabilização de sistemas compactos de tratamento de efluentes, que produzem água de reuso de maior qualidade devido a alta capacidade destes sistemas de removerem compostos prejudiciais a saúde humana e agressivos ao meio ambiente; a um preço competitivo com o preço de produção de água de reuso por sistemas convencionais.

Porém como todo o sistema, o PSM também apresenta algumas desvantagens que são destacadas por Scott e Hughes (1996) como sendo:

a) Redução de performance devido aos fenômenos de polarização por concentração e possível *fouling* ou *scaling* na superfície das membranas;
b) Limitação das membranas poliméricas quanto a valores extremos de pH, altas temperaturas e a presença de cloro e solventes orgânicos na água de alimentação;
c) Nem sempre a separação esperada é obtida;

d) Em alguns casos envolve um tratamento avançado do rejeito gerado, impactando no custo do sistema.

3.3.2 Classificação dos processos de separação por membranas

Os principais processos de membranas na área de saneamento básico consistem na Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e na Osmose Reversa (OR). Estes processos podem ser classificados por: (1) tipo de material que a membrana é fabricada, (2) natureza da força externa aplicada, (3) mecanismo de separação, (4) tamanho dos poros da membrana e (5) tamanho nominal das partículas que são separadas (METCALF & EDDY, 2007). As características dos diversos processos por membranas são apresentadas no Quadros 5 e 6.

Tipo do Processo	**Força Atuante na Membrana**	**Tipo de Mecanismo de Separação**	**Estrutura de Operação (tam. poros)**	**Faixa Típica de Operação (µm)**
Microfiltração	Diferença de pressão hidrostática ou vácuo	Seleção/ Filtro	Macroporos (>50 nm)	0,08 - 2.0 µm
Ultrafiltração	Diferença de pressão hidrostática ou vácuo	Seleção/ Filtro	Mesoporos (2-50 nm)	0,005 - 0,2 µm
Nanofiltração	Diferença de pressão hidrostática	Seleção/Filtro + Dissolução/Difusão + Separação	Microporos (< 2nm)	0,001 - 0,01 µm
Osmose Reversa	Diferença de pressão hidrostática	Dissolução/Difusão + Separação	Densa (< 2nm)	0,0001 - 0,001 µm

QUADRO 5 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PROCESSOS DE MEMBRANAS.
FONTE: ADAPTADO METCALF & EDDY (2007).

Tecnologia de Membrana	Faixa típica de Operação (µm)	Pressão de Operação (kgf/cm²)	Taxa de Fluxo (L/m².d)	Descrição do Permeado	Tipos dos elementos removidos
Microfiltração	0,08 - 2.0 µm	0,071 – 1,02	400 - 1600	Água + Solutos Dissolvidos	SST, turbidez, protozoários, ócitos, cistos, algumas bactérias e vírus
Ultrafiltração	0,005 - 0,2 µm	0,71 – 7,12	400 - 800	Água + pequenas moléculas	Macromoléculas, colóides, a maioria das bactérias, alguns vírus e proteínas
Nanofiltração	0,001 – 0,01 µm	3,57 – 5,61 (1000 a 2500 mg/L STD) 5,10 – 10,2 (água do mar)	240 - 840	Água + pequenas moléculas, íons dissolvidos	Pequenas moléculas (íons divalentes), dureza e vírus
Osmose Reversa	0,0001 – 0,001 µm	12,24 – 18,35 (1000 a 2500 mg/L STD) 56,08 – 86,67 (água do mar)	288 - 480	Água + pequenas moléculas, íons dissolvidos	Moléculas muito pequenas (íons monovalente), cor, dureza, sulfatos, nitratos, sódio e outros íons

QUADRO 6 - CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DOS PROCESSOS DE MEMBRANA APLICADOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES.
FONTE: ADAPTADO METCALF & EDDY (2003), METCALF & EDDY (2007).

3.3.2.1 Materiais de Fabricação das Membranas

São dois os tipos de materiais de fabricação das membranas.

As membranas utilizadas em sistemas de tratamento de efluentes são em sua maioria poliméricas uma vez que as membranas cerâmicas apresentam um alto custo, restringindo sua aplicação a tratamento de soluções extremamente agressivas, de altas temperaturas ou alto valor agregado (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001; METCALF & EDDY, 2003).

Inúmeros são os polímeros orgânicos que podem ser utilizados para fabricação de membranas filtrantes. A escolha do melhor tipo de membrana e a

configuração mais adequada é analisada caso a caso, sendo baseada, geralmente, em estudos com plantas pilotos de modo a minimizar o efeito de deterioração da membrana. O Quadro 7 relaciona os diferentes processos aos diferentes tipos de polímeros e suas configurações usuais.

Tipo de Processo	Propriedades das Membranas	
	Material	Configuração
Microfiltração	Polipropileno, Acrilonitrito, Polisulfona, Politetrafluoretileno, Nylon, Teflon	Espiral, Fibra Oca, Placa Plana
Ultrafiltração	Poliamida Aromática, Acetato de Celulose, Polisulfona, Teflon, Polietersulfona, Polipropileno	Espiral, Fibra Oca, Placa Plana
Nanofiltração	Poliamida Aromática, Acetato de celulose, Polisulfona	Espiral, Fibra Oca
Osmose Reversa	Poliamida Aromática, Acetato de Celulose	Espiral, Fibra Oca

QUADRO 7 - PROPRIEDADES DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MEMBRANA.
FONTE: ADAPTADO DE SCHENEIDER E TSUTYIA (2001).

Em sistema de OR, as membranas mais utilizadas são as compostas de poliamida também conhecidas por "Thin Film Composite" ou TFC, as quais superam o desempenho das de acetato de celulose devido a menor espessura de membrana, reduzidas imperfeições e maior passagem de fluxo sob uma mesma pressão de operação. Suas principais características estão listadas no Quadro 8 (KUCERA, 2010).

Propriedades	Membranas Compostas de Poliamida
Tipo da Membrana	Homogênea assimétrica, *thin-film composite* (TFC)
Taxa de rejeição de sais	em torno de 98%
Taxa de rejeição a sílica	em torno de 96%
Limite de pH	2 – 12*
Pressão de operação	145 - 400 psi
Tolerância a temperatura	> 45 ℃**
Carga elétrica na superfície	Negativa (aniônica)
Tolerância ao cloro	< 0,02 ppm
Crescimento microbiológico	Provoca *fouling* na membrana
Tolerância ao fouling	Moderada
Rugosidade da Superfície	Rugosa

QUADRO 8 - PROPRIEDADES DE MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA.
FONTE: ADAPTADO DE KUCERA (2010).
* Possíveis para as limpezas químicas. Checar com o fabricante da membrana o pH ideal para operação contínua do sistema.
** Checar com o fabricante a temperatura máxima para a sua membrana.

3.3.2.2 Força Aplicada

As separações por MF, UF, NF e OR utilizam a pressão como força motriz. Nos processos de MF e UF esta força pode ser positiva ou negativa, caso o sistema seja submerso. Neste último caso o permeado é obtido, portanto, pelo vácuo gerado no interior da membrana através de bomba de sucção. (METCALF & EDDY, 2007). Uma vez que a porosidade das membranas de NF e OR são bem menores que as primeiras, a força necessária para a filtração por estes processos é maior.

3.3.2.3 Mecanismos de remoção

Segundo Mancuso e Santos (2003) os mecanismos de separação para os processos de MF, UF, NF e OR podem ser dados por dois efeitos:

a) Efeito de peneiramento ou filtração para o caso dos processos de membranas porosas que tem diâmetros de poros com dimensões que variam entre microporos à macroporos, como é o caso dos processos de MF,UF e de NF quando esta apresenta um diâmetro de poros maior.
b) Efeito da diferença de solubilidade e capacidade de difusão das substâncias na membrana, como nos processos de OR e NF de menor diâmetro.

3.3.2.4 Porosidade e tamanho nominal das partículas

As classificações por porosidade e pelo tamanho nominal das partículas que serão separadas estão diretamente relacionadas entre si e consistem na classificação mais utilizada na área de saneamento básico.

As membranas são definidas quanto ao diâmetro de seus poros em (1) macroporos (<50 nm), (2) mesoporos (2-50 nm) e (3) microporos (<2 nm). Na OR, o tamanho dos poros são tão pequenos que a membrana é definida como densa. (METCALF & EDDY, 2003). A capacidade de rejeição aumenta conforme o diâmetro dos poros, juntamente com a força motriz necessária a filtração. O fluxo por entre a membrana, consequentemente, diminui.

3.3.3 Configuração das membranas

O conjunto de estruturas necessárias para viabilizar a operação da membrana como unidade de separação é denominado módulo. Os principais elementos que o compõe são: (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001)

1. A membrana;
2. A estrutura suporte de pressão, do vácuo;
3. Canais de alimentação e remoção do permeado e do concentrado.

A configuração das membranas tais como sua geometria e o modo como são dispostas e orientadas com relação as correntes de entrada e saída são fundamentais no desempenho do processo. Segundo Scheneider e Tsutiya (2001) e Judd e Jefferson (2003), a configuração ideal deve possuir as seguintes características:

a) Alta densidade de membrana;
b) Alto grau de turbulência para promover a transferência de massa no canal de entrada;
c) Baixo consumo energético por unidade de volume de água produzido;
d) Baixo custo por unidade de área de membrana;
e) Disposição que facilite e permita a limpeza eficiente das membranas;
f) Facilidade em seu manuseio.

Porém na prática algumas características listadas acima são mutuamente exclusivas.

São cinco as principais configurações de membranas encontradas no mercado: (1) Módulos com placas de membranas, (2) Módulos tubulares, (3) Módulos espirais, (4) Módulos com fibras ocas.

3.3.3.1 Módulos espirais

O módulo espiral é uma estrutura simples, porém robusta, resistente a altas e médias pressões. Estes módulos são aplicados principalmente nos processos de NF e OR (JUDD e JEFFERSON, 2003).

Nestes módulos duas membranas retangulares são vedadas com cola em três das suas quatro extremidades, formando como se fosse um envelope com as camadas filtrantes voltadas para o lado de fora deste. As faces das membranas voltadas para o interior do envelope correspondem a camada suporte e são separadas por um espaçador fino e poroso criando assim, um canal de fluxo livre para o permeado (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001).

O envelope é enrolado então com sua extremidade aberta ligada a um tubo perfurado. Um segundo espaçador, agora em formato de tela, é adicionado na parte de fora deste envelope e igualmente enrolado, com o intuito não apenas de formar o canal de entrada e de coleta do rejeito como também de conferir a esta área uma turbulência de modo a orientar o processo de filtração. (HUMPHREY e KELLER, 1997). As Figuras 2 e 3 ilustram estes tipos de membranas.

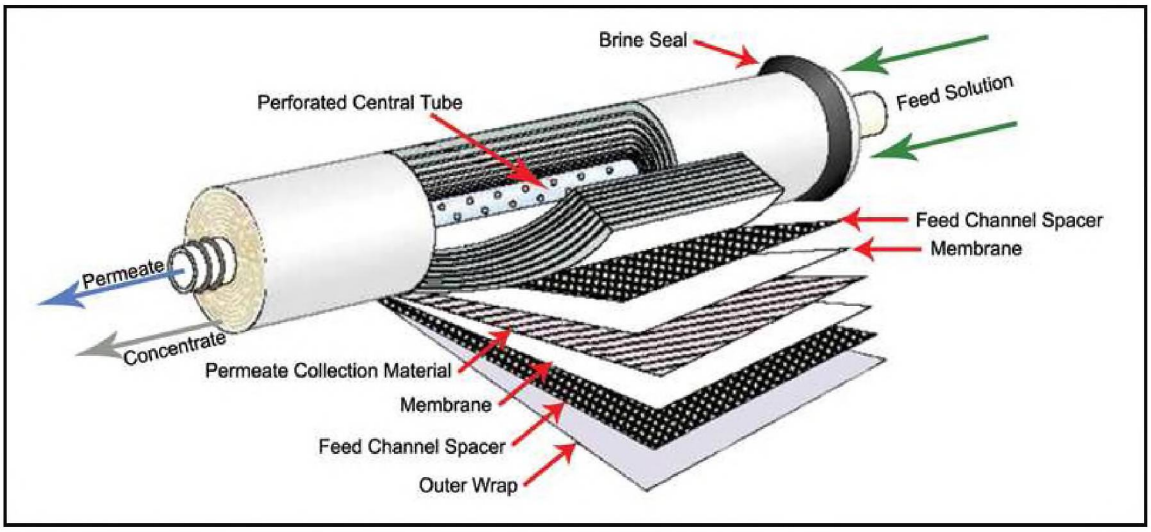


FIGURA 2 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO MODÚLO ESPIRAL
FONTE: SITE WWW.MELIORATEAQUA.COM/IMAGES/MI-800I.PNG

Cada estrutura desta pode ser denominada como sendo um pacote de filtração e, portanto, os módulos espirais definidos como sendo um conjunto de pacotes de filtração dispostos lado a lado e enrolados em volta de um canal coletor de permeado, conferindo ao módulo o formato de um cilindro. Esta disposição imprime ao elemento uma alta densidade volumétrica de membrana, na ordem de 700 a 1000m^2/m^3 e uma grande quantidade de canais de alimentação. A alimentação é feita por uma das extremidades e o fluxo pelo módulo é paralelo ao canal central de coleta de água filtrada. Os elementos de membranas são alocados no interior de vasos de pressão de PVC ou Aço Inox (SCHENEIDER e TSUTYIA, 2001).

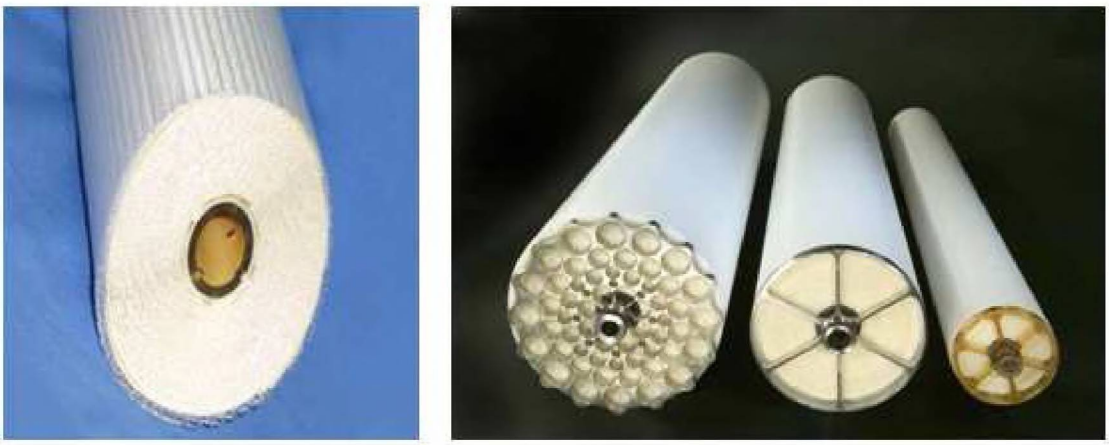


FIGURA 3 - MÓDULOS ESPIRAIS
FONTE: WWW.TRISEP.COM/TURBOCLEAN/TRISEP1.JPG

3.3.3.2 Módulos de fibra oca

Os módulos de fibra oca são caracterizados pelo pequeno diâmetro de suas fibras que confere ao sistema uma alta densidade volumétrica, com valores que podem atingir até 30.000 m^3/m^2 de área coberta por membranas (JUDD e JEFFERSON, 2003).

A filtração pelo módulo de fibra oca pode ser feita no sentido do interior da fibra para fora, *inside-out,* característico dos processos de OR, ou de fora para o seu interior, *outside-in,* pela geração de vácuo, característico dos sistemas de MF e UF, conforme ilustrado na Figura 4 (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001).

Na configuração *inside-out,* a alimentação é feita em uma das extremidades, por uma bomba de alta pressão, para uma tubulação central localizada no interior do módulo. O rejeito é coletado em sua extremidade oposta enquanto o permeado atravessa a membrana. Já na configuração *outside-in,* o permeado é obtido pelo interior das fibras através da pressão negativa aplicada no processo. Esta configuração é muito utilizada em sistemas de MBR submersos. (MULDER, 1996; METCALF & EDDY, 2007)

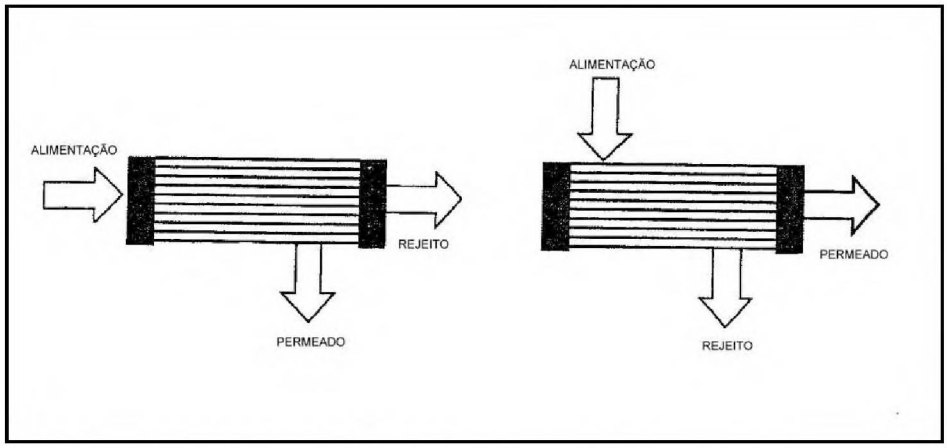


FIGURA 4 - CONFIGURAÇÕES DE MEMBRANAS DE FIBRA OCA
FONTE: MULDER (1996).

3.3.4 Operação de Membranas

Nesta seção serão abordados os termos usualmente utilizados em sistemas de membranas bem como sua definição e conceito.

3.3.4.1 Filtração frontal e tangencial

Como já descrito podem existir três diferentes correntes em um processo por membranas: a de alimentação, a de concentrado e a do permeado. A filtração, por sua vez, pode ser realizada de duas maneiras. A água bruta pode ser bombeada na direção perpendicular ou paralela a membrana, caracterizando a filtração respectivamente em frontal ou tangencial, conforme Figura 5 (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001).

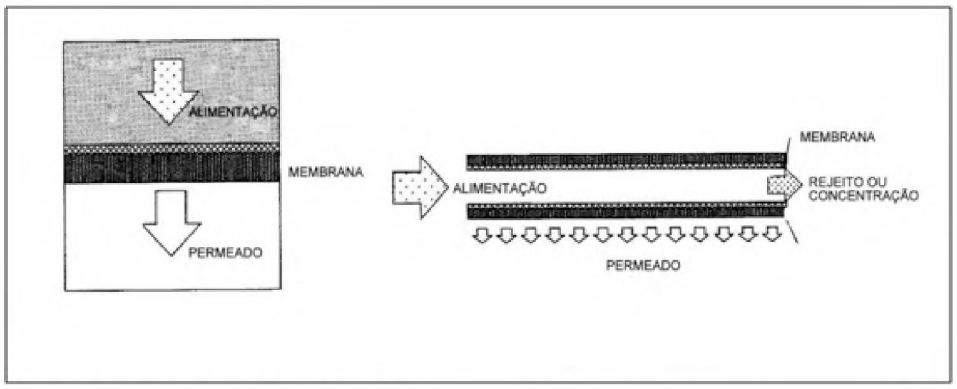


FIGURA 5 - FILTRAÇÃO FRONTAL E TANGENCIAL.
FONTE: JUDD E JEFFERSON (2003).

Na frontal a filtração é direta sendo toda a água de alimentação forçada contra a membrana. Neste processo não há geração da corrente de rejeito e o aproveitamento da área superficial da membrana é total. Porém, sua eficiência reduz ao longo do tempo devido a tendência do acúmulo de material particulado sob a sua superfície. Este acúmulo acarreta em um aumento gradativo da concentração na

corrente de alimentação e uma redução no fluxo e na qualidade do permeado (MULDER, 1996).

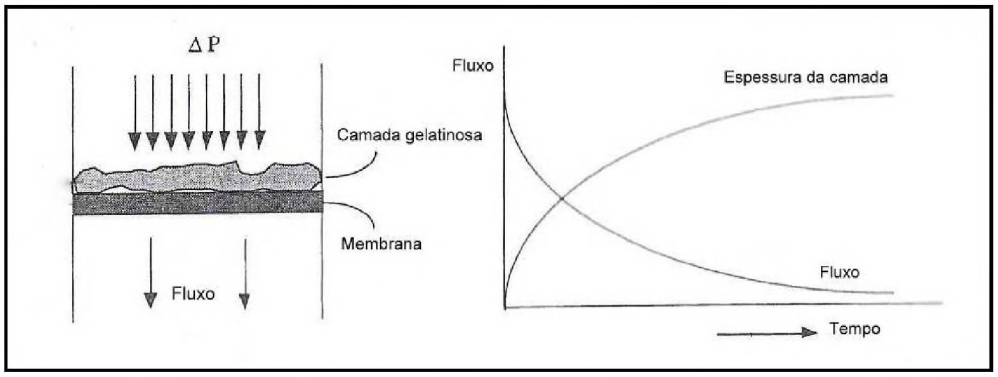


FIGURA 6 - FORMAÇÃO DA TORTA DE FILTRO NO SISTEMA DE FILTRAÇÃO FRONTAL E SUA EVOLUAÇÃO AO LONGO DO TEMPO PROVOCANDO *FOULING*.
FONTE: ADAPTADO DE MULDER (1996).

Sendo assim, a filtração frontal é aplicada geralmente em águas que possuem baixa concentração de sólidos ou em processos que possuem retro-lavagens freqüentes, como os de MF e UF (JUDD e JEFFERSON, 2003). A Figura 6 ilustra o declínio de fluxo em sistemas de filtração frontal.

Nestes sistemas a pressão transmembrana é dada pela Equação 1 apresentada abaixo:

EQUAÇÃO 1 - GRADIENTE DE PRESSÃO TRANSMEMBRANA NA FILTRAÇÃO FRONTAL

$$P_{tm} = P_a - P_p$$

Em que:

P_{tm}: gradiente de pressão transmembrana, em kPa;

P_a: pressão da corrente de alimentação, em kPa;

P_p: pressão da corrente de permeado, em kPa.

Quando há uma alta concentração de sólidos na água de entrada ou uma limitação de permeabilidade devido a aplicação de membranas densas no processo, não é interessante que toda a água bruta seja convertida em permeado, uma vez que isso implicaria em um alto consumo energético e em um baixo fluxo de água

tratada. Neste caso a alimentação do sistema é feita paralelamente a superfície da membrana denominada como tangencial sendo a corrente de concentrado composta pelo material rejeitado pela membrana (JUDD e JEFFERSON, 2003).

Neste tipo de filtração, pelo fato do fluxo ser paralelo a membrana, uma turbulência é gerada próxima à sua superfície, reduzindo assim a tendência ao *fouling* e ao depósito de partículas sobre esta. A medida que o módulo é longitudinalmente percorrido, a solução se torna mais concentrada tendenciando a um maior acúmulo na extremidade do módulo oposta a da alimentação (MULDER, 2006).

Nos sistemas de filtração tangencial a pressão transmembrana e a queda da pressão total do módulo ao longo da operação são obtidas respectivamente pelas seguintes Equações 2 e 3 apresentadas abaixo:

EQUAÇÃO 2 - GRADIENTE DE PRESSÃO TRANSMEMBRANA NA FILTRAÇÃO TANGENCIAL

$$P_{tm} = \left[\frac{P_a + P_r}{2}\right] - P_p$$

Em que:

P_{tm} : gradiente de pressão transmembrana, em kPa;

P_a : pressão da corrente de alimentação, em kPa;

P_r : pressão da corrente de rejeito, em kPa;

P_p : pressão da corrente de permeado, em kPa.

EQUAÇÃO 3 - QUEDA DA PRESSÃO ATRAVÉS DO MÓDULO

$$P = P_a - P_p$$

Em que:

P : queda da pressão através do módulo, em kPa;

P_a : pressão da corrente de alimentação, em kPa;

P_p : pressão da corrente de permeado, em kPa.

3.3.4.2 Fluxo

O fluxo corresponde ao volume de solução que atravessa a membrana por unidade de área, conforme expresso pela Equação 4 (METCALF & EDDY, 2007):

EQUAÇÃO 4 - FLUXO DA ÁGUA PELA MEMBRANA

$$Q_p = JA$$

Em que:

J : fluxo da água pela membrana, em L/m².h;

A : área de membranas, em m².

Q_p : vazão da corrente de permado, em L/h;

Este parâmetro esta diretamente relacionado com a força motriz aplicada ao sistema, podendo ainda ser influenciado pelos seguintes fatores (JUDD e JEFFERSON, 2003):

a) A resistência da membrana;
b) As condições hidrodinâmicas na interface membrana-líquido;
c) Bloqueio dos poros da membrana e a subseqüente limpeza da sua superfície.

Existem várias maneiras diferentes de modelar a influência destes fatores internos e externos sobre o fluxo através das membranas. Um dos mais difundidos consiste no modelo de resistência o qual define este parâmetro como dependente da pressão de filtração (P_f), da viscosidade dinâmica da água (μ) e da resistência da membrana (R_m), conforme descrito na Equação 5 (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001).

EQUAÇÃO 5 - FLUXO DA ÁGUA PELA MEMBRANA

$$J = {P_f}/{\mu R_m}$$

Em que:

J: fluxo da água pela membrana, em L/m².h;

Em sistema de OR o fluxo é ainda influenciado pela pressão osmótica sendo portanto descrito pelas Equações 6, 7 e 8 abaixo ilustradas (METCALF & EDDY, 2007):

EQUAÇÃO 6 - FLUXO DA ÁGUA PELA MEMBRANA

$$J = K\ (\Delta P - \Delta\pi) = \frac{Q_p}{A}$$

Em que:

J : fluxo da água pela membrana, em L/m².h

K : coeficiente de transporte de água = permeabilidade/espessura da membrana, em L/m².h.bar

A : área de membranas, em m².

Q_p : vazão da corrente de permado, em L/h;

ΔP : diferença de pressão através da membrana, em bar

EQUAÇÃO 7 - DIFERENÇA DE PRESSÃO ATRAVÉS DA MEMBRANA

$$\Delta P = \frac{P_a + P_r}{2} - P_p$$

$\Delta\pi$: diferença da pressão osmótica através da membrana, em bar

EQUAÇÃO 8 - DIFERENÇA DA PRESSÃO OSMÓTICA ATRAVÉS DA MEMBRANA

$$\Delta\pi = \frac{\pi_a - \pi_r}{2} - \pi_p$$

P_a : pressão aplicada na água de alimentação, em bar;

P_r : pressão da corrente do rejeito, em bar;

P_p : pressão da corrente do permeado, em bar;

π_a : pressão osmótica na água de alimentação, em bar;

π_r : pressão osmótica na corrente do rejeito, em bar;

π_p : pressão osmótica na corrente do permeado, em bar

Considerando, portanto, C como concentração e Q como vazão da corrente as Equações 9 e 10 expressam respectivamente os balanços de fluxo e de massa em sistemas de filtração tangencial (JUDD e JEFFERSON, 2003):

EQUAÇÃO 9 - BALANÇOS DE FLUXO EM SISTEMAS DE FILTRAÇÃO TANGENCIAL

$$Q = Q_p + Q_r$$

EQUAÇÃO 10 - BALANÇOS DE MASSA EM SISTEMAS DE FILTRAÇÃO TANGENCIAL

$$QC = Q_p C_p + Q_r C_r$$

Em que:

Q : vazão da corrente de entrada, em m³/h ou m³/s;

Q_p : vazão da corrente de permeado, em m³/h ou m³/s;

Q_r : vazão da corrente de rejeito, em m³/h ou m³/s;

C : concentração da corrente de entrada, em g/m³ ou mg/L;

C_p : concentração da corrente de permeado, em g/m³ ou mg/L;

C_r : concentração da corrente de rejeito, em g/m³ ou mg/L;

Vale ressaltar que em projetos de OR o fluxo pela membrana é geralmente calculado em função da qualidade da água de entrada e não das propriedades da membrana, pelo fato de que maiores fluxos resultam em uma aceleração do *fouling*. Portanto quanto pior for a qualidade do efluente, menor deverá ser o fluxo deste por entre as membranas (KUCERA, 2010). Porém, o fluxo não pode ser muito baixo a ponto de não permitir que a corrente de alimentação ultrapasse a superfície da membrana, devido a sua alta concentração de STD e outros compostos (CÍCERO FRANCO, contato pessoal, 2010).

Pela facilidade de medição imediata, a maioria dos sistemas monitora as vazões de entrada e das correntes de rejeito e permeado ao invés do fluxo por entre a membrana, sendo a vazão definida como sendo volume pelo tempo.

3.3.4.3 Recuperação de um sistema

A recuperação de um sistema consiste no termo utilizado para expressar qual a porcentagem do volume ou da vazão da água de alimentação que é "recuperada" e convertida em permeado, sendo expressa pela Equação 11 (KUCERA, 2010).

EQUAÇÃO 11- RECUPERAÇÃO DE UM SISTEMA CONSISTE

$$r\% = \frac{Q_p}{Q}\ x\ 100$$

Em que:

r% : recuperação do sistema;

Q : vazão da corrente de entrada, em m³/h ou m³/s;

Q_p : vazão da corrente de permeado, em m³/h ou m³/s;

Segundo Metcalf and Eddy (2007) a vazão de permeado em um processo de OR encontra-se entre a faixa de 60 a 90% da vazão da água de alimentação. Já para Kucera (2010) este percentual de recuperação esta entre a faixa de 50 a 85%, sendo a maioria dos sistemas projetados para produção de 75% de permeado e 25% de rejeito. Para Jonhson *et al.* (1997) por sua vez, o rendimento de sistema de OR quando aplicados para reuso de água está limitado a 60%. Porém todos afirmam que o alcance destes valores depende diretamente da qualidade da água de entrada.

Altos percentuais de água recuperada resultam em um menor volume de rejeito para posterior disposição, porém mais concentrados. Em um sistema que produz, por exemplo, 75% de permeado, o volume de rejeito será ¼ do volume total de alimentação. Considerando que a membrana retém todos os sólidos dissolvidos assume-se que todos estes encontram-se nesta parcela e que, portanto, a concentração da corrente de rejeito é quatro vezes maior que a concentração da água de alimentação, ou ainda que o fator de concentração deste sistema corresponde a 4. Além disso, quanto maior a taxa de recuperação, menor será a

qualidade da água produzida, pois maior será a passagem de sais pela membrana para corrente de permeado (KUCERA, 2010).

3.3.4.4 Rejeição

Corresponde a fração de soluto ou de sólidos retida pela membrana. Este parâmetro é determinado para cada um dos compostos presentes na água de alimentação. Seu valor é expresso, na maioria das vezes, na forma de percentagem, conforme Equação 12, e representa a eficácia do sistema. (MULDER, 1996, METCALF & EDDY, 2007) :

EQUAÇÃO 12 - REJEIÇÃO DO SISTEMA

$$R\% = \left(\frac{C_r - C_p}{C_r}\right) x\ 100$$

Em que:

R% : rejeição do sistema

C_p : concentração da corrente de permeado, em g/m³ ou mg/L;

C_r : concentração da corrente de rejeito, em g/m³ ou mg/L;

Desta forma, a passagem dos sais por entre a membrana é exatamente o oposto do percentual de rejeição, conforme apresentado na Equação 13 e 14.

EQUAÇÃO 13 - PASSAGEM DOS SAIS POR ENTRE A MEMBRANA

$$\%\ Passagem\ Sal = 100 - \%\ Rejeição$$

EQUAÇÃO 14 - PASSAGEM DOS SAIS POR ENTRE A MEMBRANA

$$\%\ Passagem\ Sal = \left(\frac{C_p}{C_r}\right) x\ 100$$

Quando a rejeição de microorganismos é considerada, é mais conveniente expressar o coeficiente de rejeição através de função logarítmica apresentada abaixo (METCALF & EDDY, 2007):

EQUAÇÃO 15 - COEFICIENTE DE REJEIÇÃO ATRAVÉS DE FUNÇÃO LOGARÍTMICA

$$R_{log} = -\log(1-R) = \log(\frac{C_r}{C_p})$$

Em que :

R : rejeição

C_p : concentração da corrente de permeado, em g/m³ ou mg/L;

C_r : concentração da corrente de rejeito, em g/m³ ou mg/L;

A rejeição corresponde a uma propriedade específica dos compostos presentes na água de alimentação e da membrana utilizada no processo de acordo com a seletividade desejada. Nas Tabela 2 e 3 são apresentadas, respectivamente as percentagens usuais de rejeição para membranas de MF e UF e membranas de NF e OR (METCALF & EDDY, 2007; KUCERA, 2010).

TABELA 2 - RENDIMENTOS ESPERADOS PARA TRATAMENTOS SECUNDÁRIOS DE EFLUENTES POR MICROFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO.

Compostos	**Unidades**	**Taxa de Remoção**	
		Microfiltração	**Ultrafiltração**
DBO	%	45 – 65	50 – 75
DQO	%	75 – 90	80 – 90
Carbono Orgânico Total (COT)	%	70 – 85	75 – 90
Sólidos Suspensos Tortais (SST)	%	95 – 98	96 – 99,9
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	%	0 – 2	0 – 2
Amônia (NH^{+}_{4}-N)	%	5 – 15	5 – 15
Nitrato (NH^{-}_{3}-N)	%	0 – 2	0 – 2
Fosfato (PO^{3-}_{4})	%	0 – 2	0 – 2
Sulfatos (SO^{2-}_{4})	%	0 – 1	0 – 1
Cloreto (Cl^{-})	%	0 – 1	0 – 1
Coliformes Totais	log	2 – 5	3 – 6
Coliformes Fecais	log	2 – 5	3 – 6
Protozoários	log	2 – 5	> 6
Vírus	log	0 – 2	2 – 7

FONTE: ADAPTADO DE METCALF & EDDY (2007, P. 438).

TABELA 3 - VALORES DE REMOÇÃO NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO POR NANOFILTRAÇÃO E OSMOSE REVERSA

Compostos	Unidade	Taxa de Remoção	
		Nanofiltração	Osmose Reversa
Sólidos Dissolvidos Totais	%	40 – 60	90 - 98
Carbono Orgânico Total	%	90 – 98	90 – 98
Cor	%	90 – 96	90 – 96
Dureza	%	80 – 85	90 – 98
Cloreto de Sódio (NaCl)	%	10 – 50	90 – 99
Sulfato de Sódio (Na_2SO_4)	%	80 – 95	90 – 99
Cloreto de Cálcio (CaCl)	%	10 – 50	90 – 99
Sulfato de Magnésio ($MgSO_4$)	%	80 – 95	95 – 99
Nitrato	%	10 – 30	84 – 96
Floureto	%	10 – 50	90 – 98
Proteínas	log	3 – 5	4 – 7
Bactérias	log	3 – 6	4 – 7
Protozoários	log	> 6	> 7
Vírus	log	3 – 5	4 – 7

FONTE: Adaptado de Metcalf & Eddy (2007, P. 472 e 475)

Espécies	Rejeição (%)
Sódio	92 - 98
Cálcio	93 - 99*
Magnésio	93 - 98
Potássio	92 - 96
Ferro	96 - 98
Manganês	96- 98
Alumínio	96 - 98
Amônio	80 - 90
Cobre	96 - 99
Níquel	96 - 99
Zinco	96 - 98
Prata	93 - 96
Mercúrio	94 - 97
Dureza	93 - 99
Cloro	92 - 98
Bicarbonato	96 - 99
Sulfato	96 - 99*
Fluoreto	92 - 95
Silicato	92 - 95
Fosfato	96 - 98
Brometo	90 - 95
Borato	30 - 50
Cromato	85 - 95
Cianeto	90 - 99*

QUADRO 9 - VALORES TÍPICOS DE REJEIÇÃO POR MEMBRANAS COMPOSTAS DE OSMOSE REVERSA DE POLIAMIDA A TEMPERATURA AMBIENTE.

FONTE: KUCERA (2010).

LEGENDA: (*) Para pH abaixo de 7,8. Em águas com pH acima deste valor, a amônia esta presente em sua forma gasosa.

No Quadro 9 são apresentados valores usuais de rejeição de alguns compostos por membranas de OR de poliamida do tipo compostas.

A rejeição de gases, mesmo em sistemas de OR é de 0%, o que significa que a concentração no permeado será igual ao valor da água de alimentação. Desta forma, gases como o cloro podem ser utilizados para desinfecção da água de entrada em sistemas de pré-tratamento (KUCERA, 2010).

3.3.5 Fatores que influenciam o fluxo de água pelas membranas

Embora os processos de membrana ocorram através da aplicação de uma força externa, fatores como polarização por concentração, adsorção e excesso de material particulado depositado sob a membrana provocando a obstrução de seus poros, e a presença de microorganismos na água de alimentação responsáveis pela formação de uma camada gelatinosa sob sua superfície implicam em um aumento da resistência a filtração e consequentemente em uma redução de fluxo por entre esta ao longo do tempo. A Figura 7 ilustra alguns destes fatores (MULDER, 1996).

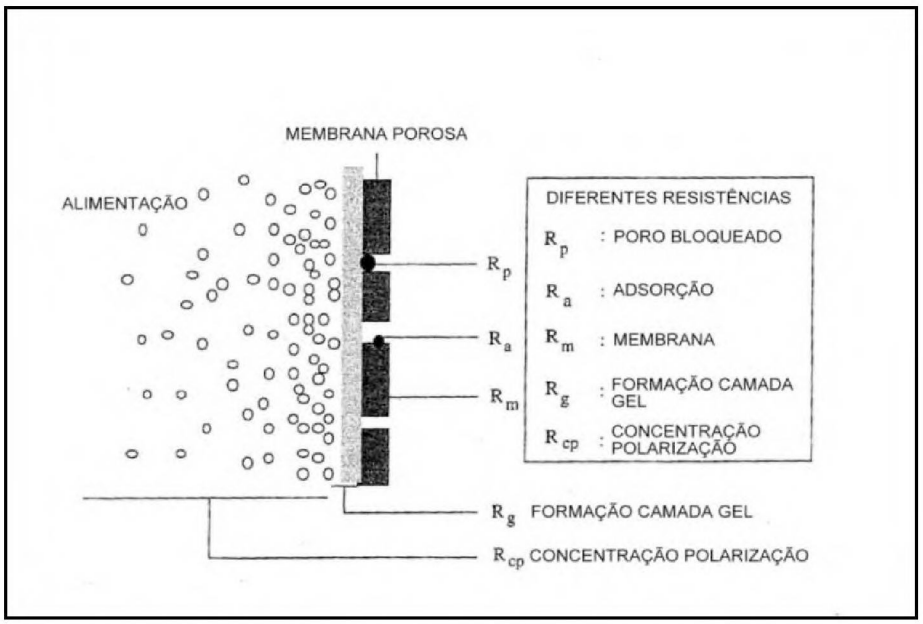


FIGURA 7 - TIPOS DE RESISTÊNCIAS CRIADAS EM DIREÇAO AO TRANSPORTE DE MASSA PELA MEMBRANA.

FONTE: MULDER (1996, P.419)

3.3.5.1 Polarização por Concentração

No processo de separação por membranas existe uma corrente convectiva em direção a superfície da membrana e uma corrente difusa em sua direção contrária, a qual é gerada devido ao gradiente de concentração dos materiais rejeitados por ela. A corrente difusa tende a transportar este material retido novamente para a corrente de alimentação porém, como o processo de difusão é mais lento que o convectivo, as partículas rejeitadas se acumulam na camada limite próxima da superfície da membrana. Este fenômeno é ilustrado na Figura 8 e é denominado de polarização por concentração (KUCERA, 2010).

A medida que o processo de filtração ocorre, a taxa de transporte de soluto em direção à membrana se iguala a soma da taxa de difusão de soluto de volta ao meio com o fluxo de soluto por entre a membrana. O fenômeno de concentração polarização na camada limite, portanto, é estabilizado quando este equilíbrio é alcançado (MULDER, 1996; JUDD e JEFFERSON, 2003).

O fenômeno é observado em todos os processos de membranas, porém, com maior intensidade nos processos de OR e NF, devido ao fato destes processos removerem sais inorgânicos que se acumulam mais facilmente sob a superfície da membrana. Além de ser responsável por uma redução de fluxo no início da operação, pode ainda causar os seguintes efeitos negativos no sistema (WINSTON HO e SIRKAR,1992):

a) Aumento da pressão osmótica na superfície da membrana implicando em uma maior resistência hidráulica. Como conseqüência há um redução do fluxo de água por entre ela.
b) Aumento na passagem de soluto pela membrana, a qual pode ser visualizada devido a maior condutividade na corrente de permeado no início da operação.
c) Precipitação de solutos na superfície da membrana se a sua concentração exceder o limite de solubilidade. Como conseqüência pode haver um entupimento dos poros da membrana devido a alta concentração destes sais e consequentemente uma redução de fluxo ao longo do processo de filtração.

d) Mudanças nas propriedades de separação das membranas.

O fenômeno de polarização por concentração não inclui a formação das tortas de filtro, das camadas de gel, de precipitados de sais e da ocorrência de *fouling,* que são conseqüências secundárias da sua formação (SCHDENEIDER e TSUTIYA, 2001).

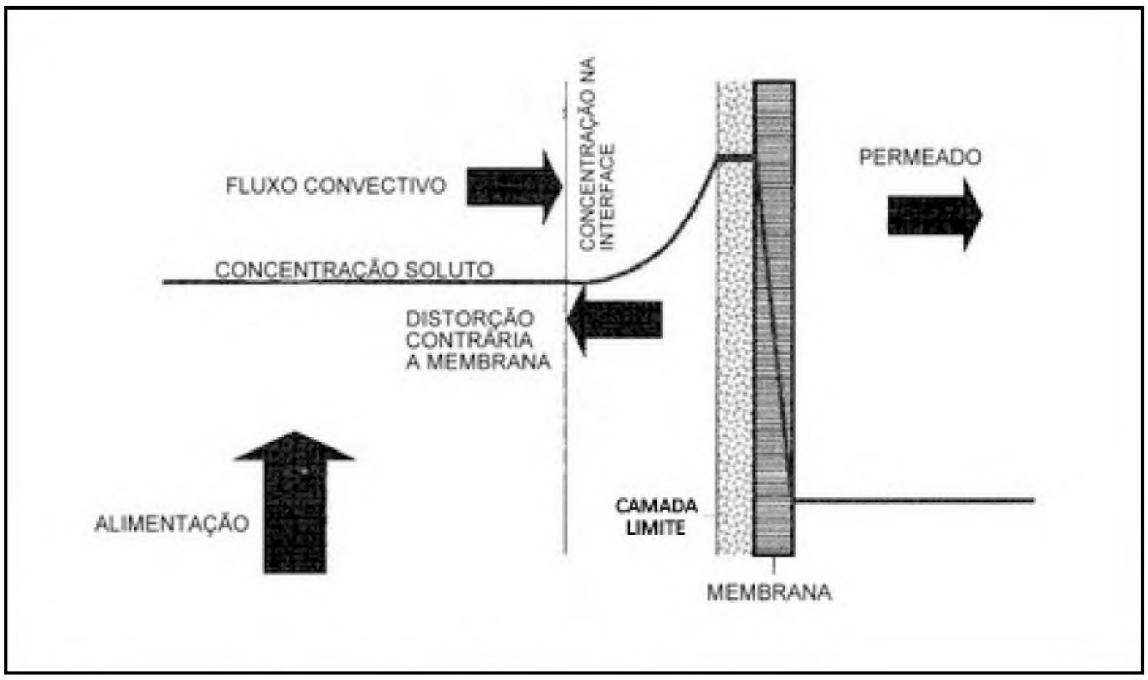


FIGURA 8 - FENÔMENO POLARIZAÇÃO POR CONCENTRAÇÃO.
FONTE: JUDD E JEFFERSON (2003).

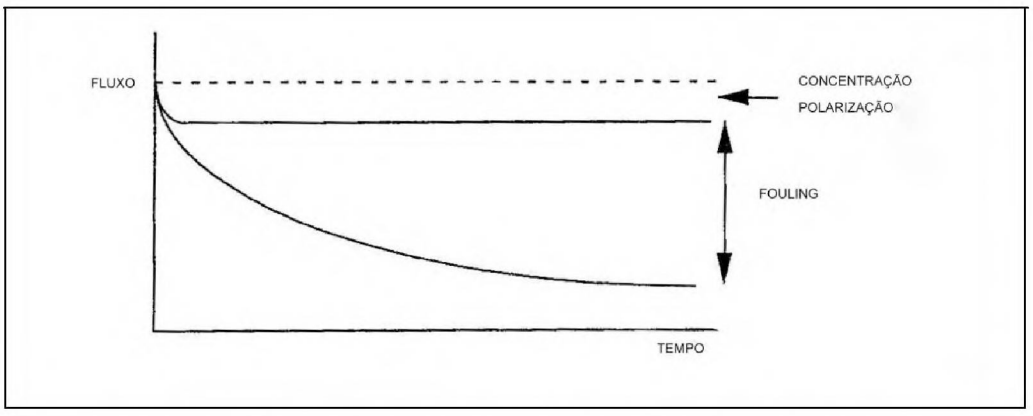


FIGURA 9 - COMPORTAMENTO DOS FENÔMENOS DE CONCENTRAÇÃO POLARIZAÇAO E DO *FOULING* AO LONGO DO TEMPO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEMBRANAS.
FONTE: MULDER (1996).

3.3.5.2 Fouling e Scaling

No início da operação de um sistema de membranas uma rápida queda no rendimento é observada devido a polarização por concentração, porém a extensão desta redução ocorre quando há um bloqueio da membrana. Este bloqueio é causado pelo *fouling* ou *scaling* (Figura 9) e a sua consideração é indispensável durante o projeto e a operação dos sistemas de membranas, pois, diferentemente da polarização por concentração, estes fenômenos, provocam uma redução lenta do fluxo, porém contínua e, em sua maioria, irreversível, afetando quantitativamente e qualitativamente a produção de água tratada (MULDER, 1996; ZHU e ELIMELECH, 1997; METCALF & EDDY, 2007).

Segundo Kucera (2010) o *fouling* é resultante do depósito se sólidos suspensos, orgânicos e da atividade de microorganismos na superfície da membrana enquanto que o *scaling* consiste na incrustação da membrana devido a precipitação de sais saturados em sua superfície.

Um alto fluxo por entre a membrana e uma baixa velocidade tangencial, a qual implica em uma camada limite mais espessa e, portanto, em um maior acúmulo de sólidos, podem causar uma aceleração destes fenômenos, pois contribuem para um aumento do fenômeno de polarização por concentração. Estes fenômenos são reduzidos mediante um maior coeficiente de transferência de massa, que resulta em uma alta velocidade de passagem e, consequentemente, maior turbulência próximo a superfície da membrana (MULDER,1996).

A percepção de que um prejuízo foi causado a membrana devido ao *fouling* se da devido a mudança dos seguintes parâmetros operacionais: quando há uma queda na vazão de permeado ou quando a queda da pressão entre a entrada e o canal de concentrado aumenta, indicando que a energia para pressurizar a água de entrada não esta mais sendo apenas absorvida pela membrana e seus componentes, mas também por compostos que estão impedindo a filtração. Um aumento na pressão de operação é então necessário para que a barreira adicional formada pelo acúmulo de sólidos sob a superfície seja transposta. Caso a pressão de entrada seja mantida a mesma, um declínio na pressão da corrente de permeado e um aumento na pressão da corrente e rejeito serão observados.

Estas mesmas condições operacionais também contribuem para ocorrência de incrustações uma vez que, se os solutos atingirem sua concentração de saturação na camada limite, estes irão incrustar na membrana. Quando o prejuízo é dado devido ao *scaling*, além da queda da vazão de permeado, do aumento na queda da pressão e da necessidade de um aumento na pressão de operação, uma rejeição de sais menor do que a esperada é observada (KUCERA, 2010).

Os principais efeitos que o *fouling* e o *scaling* podem causar nas membranas são apresentados resumidamente no Quadro 10.

Efeito Observado	Comentário
Redução do fluxo	Redução gradual devido ao crescimento do biofilme na membrana.
Diminuição da rejeição de solutos	Aumento do grau de concentração-polarização devido à redução da turbulência na superfície da membrana e/ou pela biodeterioração do polímero da membrana.
Aumento da quantidade de sais precipitados	Aumento do grau de concentração-polarização.
	Sítios de nucleação no interior do biofilme.
Maior diferencial de pressão ao longo do canal de alimentação	Redução da espessura do canal de alimentação e/ou bloqueio de partes do canal pelo biofilme. Possibilidade de destruição total de módulos espirais devido ao deslocamento horizontal de pacotes de membrana causado pelo diferencial de pressão no interior dos pacotes (telescoping).
Contaminação do permeado	Crescimento de biofilmes microbianos nos canais do permeado e maior passagem de sais pela membrana.
Biodeterioração da membrana	Biodegradação do polímero da membrana ou pela ação de metabólitos microbianos (ácidos) sobre os polímeros da membrana. Destruição irreversível da membrana.
Biodeterioração de componentes do módulo	Degradação das linhas de vedação do canal do permeado.
Degradação química da membrana	Biocidas oxidantes ou extremos de pH utilizados na remoção do biofilme podem atacar os polímeros da membrana.
Redução do tempo de uso da membrana	Causado pelo conjunto dos fatores acima citados.

QUADRO 10 - PRINCIPAIS EFEITOS CAUSADOS PELO *FOULING* E *SCALING* SOBRE O SISTEMA DE MEMBRANAS.

FONTE: ADAPTADO DE SCHNEIDER E TSUTYIA (2003).

3.3.5.3 Compostos formadores de *Fouling*

Segundo Kucera (2010) as principais espécies formadoras de *fouling* são:

a) Partículas coloidais tais como silicato de ferro e alumina;
b) Compostos orgânicos os quais servem de nutriente para os microorganismos;
c) Microorganismos
d) Cor, a qual é irreversivelmente adsorvida pelo polímero das membranas;
e) Metais, tais como ferro e manganês os quais precipitam na forma de óxidos, alumínio originado geralmente do sulfato de alumínio e sulfeto de hidrogênio o qual libera enxofre que se agrega a membrana e sendo sua remoção praticamente impossível.

3.3.5.3.1 Depósito e acúmulo de partículas

A redução de fluxo causada por *fouling* provindo do acúmulo de sólidos na membrana pode ser causada pelo: (1) Estreitamento dos poros, (2) Entupimento dos poros, (3) Formação da camada de gel ou torta de filtro sob a superfície da membrana (METCALF & EDDY, 2007).

O estreitamento e o entupimento dos poros ocorrem quando o tamanho das partículas presentes na água de alimentação são menores ou de tamanho semelhante aos seus diâmetros. Desta forma as partículas se aderem aos poros da membrana ou na sua superfície interna reduzindo o orifício até o seu preenchimento completo. Uma vez que os tamanhos dos poros são reduzidos, a polarização por concentração é intensificada, provocando um aumento do *fouling* (METCALF & EDDY, 2007). Este tipo de bloqueio é característico das membranas de MF e UF que as quais apresentam estruturas porosas.

A formação da torta de filtro ocorre inicialmente devido a presença de partículas na água de alimentação de tamanho maior que o diâmetro dos poros ou de maior massa molecular. No decorrer do processo de filtração esta torta tende a aumentar pela incorporação de partículas de tamanho reduzido que são retidas na sua estrutura por meio da adsorção ou retenção física (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001; METCALF & EDDY, 2007).

3.3.5.3.2 Precipitação orgânica

Existem três principais categorias de material orgânico que pode prejudicar a membrana: (1) Proteína, (2) Carboidrato (3) Óleos e gorduras, sendo o óleo de origem mineral ou vegetal (JUDD e JEFFERSON, 2003).

As proteínas e os carboidratos podem ter sua origem no processo biológico de tratamento, através da síntese em ácidos fúlvicos e húmicos, ou em polímeros orgânicos que podem ter sido utilizados em alguma etapa do tratamento anterior ao processo por membranas (TAN, 1994; METCALF & EDDY, 2007).

As proteínas podem estar na forma de dispersões coloidais ou em solução, enquanto que os carboidratos estão presentes principalmente na forma de amido e polissacarídeos (JUDD e JEFFERSON, 2003).

No caso dos óleos e gorduras, suas propriedades conferem a estes compostos alta afinidade aos polímeros que formam as membranas e, portanto, sua presença pode acelerar a redução de fluxo pela membrana e causar um grande dano a mesma (LI *et al.*, 2008).

3.3.5.3.3 *Fouling* biológico

Os biofilmes microbianos correspondem a comunidades de bactérias aderidas a superfície da membrana. Este tipo de *fouling* difere do acúmulo passivo de

partículas pelo fato dos microorganismos se multiplicarem e formarem uma espécie de gel sob a superfície da membrana, composto por polímeros extracelulares, produzidos pelos próprios organismos do biofilme (SCHENEIDER E TSUTIYA, 2001).

O crescimento dos microorganismos se dá na presença de nutrientes. Portanto é importante que haja um o controle da relação entre carbono, nitrogênio e fósforo presentes na água de alimentação, bem como da temperatura e do pH do meio (METCALF e EDDY, 2007). Conforme Tam *et al.* (2005), aplicação de hipoclorito de sódio, como produto auxiliar nas limpezas, pode ajudar a controlar a formação das colônias de microorganismos, reduzindo o efeito do *fouling*. Porém, embora seja um desinfetante, sua aplicação deve ser controlada, pois Baker e Dudley (1998) acrescentam que as bactérias podem criar resistência a este produto dificultando sua eliminação. Além disso os biocidas podem quebrar as partículas de ácidos húmicos em compostos menores que, por sua vez, passam a estar disponíveis como nutriente para as bactérias.

O crescimento de comunidades microbianas, juntamente com o depósito de matéria orgânica, corresponde aos principais fatores responsáveis pela diminuição de fluxo de operação em sistemas empregados no saneamento básico. Isto ocorre devido ao fato dos efluentes tratados biologicamente ainda apresentarem concentrações de compostos orgânicos e nutrientes em sua constituição, favorecendo a atividade biológica sobre a superfície da membrana (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001).

3.3.5.4 Compostos formadores de *Scaling*

Este fenômeno ocorre principalmente em sistemas de OR e NF, onde fatores como altos índices de rejeição de sais, em torno de 99%, a intensa polarização por concentração e a remoção de até 90% de água da solução favorecem o depósito de partículas sobre a superfície da membrana (SCHENEIDER e TSUTYIA, 2001).

Ao longo do processo de filtração a concentração local de sais próxima a superfície da membrana tende a aumentar. Quando o ponto de saturação de tais

constituintes é alcançado, dependendo da temperatura do meio e das características químicas da água de alimentação, uma variedade de sais pode precipitar sob a superfície da membrana, principalmente (METCALF & EDDY, 2007, KUCERA, 2010).

a) Cálcio incluindo carbonatos, sulfatos, fluoreto e fosfato;
b) Sílica reativa;
c) Traços de metais como bário e estrôncio.

O carbonato de cálcio consiste em um composto muito insolúvel em água e, portanto, precipita-se rapidamente. Além disso, quando presente próximo ao seu limite de saturação termodinâmico, como é o caso dos efluentes farmacêuticos e de laticínios, pode depositar-se sobre a membrana na forma de calcário. Nos reatores biológicos de membranas, há uma grande liberação de gás carbônico devido a aeração constante o que, consequentemente, reduz o pH no interior do reator, podendo também causar a precipitação do carbonato de cálcio. (JUDD e JEFFERSON, 2003; KUCERA, 2010).

O fenômeno de incrustação ocorre nos últimos estágios de um sistema pelo fato da água de alimentação destes estágios ser mais concentrada em sais. Além disso, quanto maior a taxa de recuperação ou vazão de permeado, maior é a tendência de que este fenômeno ocorra (FILMTEC, 2010).

Para minimizar a precipitação destes sais e as incrustações causadas por eles; é importante que seja considerado em fase de projeto quais os sais que estarão presentes na água de alimentação de modo a evitar que seus limites de solubilidade sejam excedidos (FILMTEC, 2010).

Seu controle pode ser feito por meio das seguintes ações listadas abaixo:

a) Acidifição controlada da água de alimentação para redução de pH e consequentemente da alcalinidade;
b) Pré-tratamento da água de alimentação por troca iônica ou abrandamento para redução da concentração de cálcio;
c) Diminuição da taxa de recuperação de produto ou vazão de permeado.
d) Adição de inibidores químicos denominados de produtos anti-incrustantes para aumento da solubilidade aparente de carbonato de cálcio na corrente do concentrado ou rejeito. Segundo Judd e Jefferson (2003), os anti-incrustantes tem a propriedade de retardar a

precipitação de alguns sais através do processo de cristalização formando micro cristais os quais dificilmente incrustam.

A escolha do anti-incrustante a ser utilizado no processo geralmente é definido pelo fabricante da membrana, uma vez que este produto tem que ser compatível ao seu material (SCHNEIDER, contato pessoal, 2009).

3.3.5.5 Indicadores de *fouling* e *scaling*

O *fouling* e o *scaling* em membranas de NF e OR podem ser muito severos devido à alta seletividade deste processo. Com o intuito de avaliar a possibilidade de tratamento de um determinado efluente por estas membranas alguns índices foram criados para determinar seu potencial à ocorrência destes fenômenos (METCALF & EDDY, 2007).

Para determinar a susceptibilidade das membranas ao *fouling* foram criados três diferentes indicadores: SDI (silt density index), MFI (modified fouling index), MPFI (mini plugging factor index) (METCALF & EDDY, 2007).

O SDI consiste no índice de *fouling* mais utilizado sendo que quanto menor este valor menor será o potencial da membrana ao *fouling* por Sólidos Suspensos (SS).

Já a tendência ao acúmulo de cálcio é quantificada pelo Índice de Saturação de Langelier (LSI). Este índice também indica se a água é corrosiva, tendendo assim a dissolver o cálcio que pode estar acumulado nas membranas (JUDD e JEFFERSON, 2003; KUCERA,2010).

O LSI é baseado nos valores de pH e temperatura e nas concentrações de STD, dureza e alcalinidade da água em questão; sendo determinado pela Equação 16 (JUDD e JEFFERSON, 2003).

EQUAÇÃO 16 – ÍNDICE DE SATURAÇÃO DE LANGELIER (LSI)

$$LSI = pH - pH_a$$

Em que:

pH: valor do pH na corrente de rejeito;

pH_a: valor do pH em que o carbonato de cálcio encontra-se em equilíbrio, podendo coincidir com o pH de saturação.

O pH_a pode ser obtido pela Equação 17

EQUAÇÃO 17 – PH_a

$$pH_a = (9{,}30 + A + B) - (C + D)$$

Em que:

A: $(Log_{10}[TDS] - 1)/10$, sendo [TDS] em ppm;

B: $-13{,}12 \times Log_{10}(℃ + 273) + 34{,}55$;

C: $Log_{10}[Ca^{+2}] - 0{,}4$, sendo $[Ca^{+2}]$ expresso em ppm de $CaCO_3$;

D: Log_{10}[alcalinidade], sendo [alcalinidade] expressa em ppm de $CaCO_3$.

Se o valor LSI for maior que 0 há uma tendência ao acúmulo de carbonato de cálcio na superfície da membrana. Se for igual a zero a água apresenta um balanço químico. E caso o valor seja negativo a água é corrosiva, conforme apresentado no Quadro 11 (KUCERA, 2010).

LSI	Condições
3,0	Inscrustação extremamente severa
2,0	Incrustação muito severa
1,0	Incrustação severa
0,5	Incrustação moderada
0,2	Incrustação modesta
0,0	Água estável, sem incrustação
0,2	Sem incrustação, leve tendência a dissolver o materia incrustado

QUADRO 11 - VALORES DE LSI E OS POSSÍVEIS GRAUS DE INSCRUSTAÇÃO DAS MEMBRANAS.

FONTE: ADAPTADO DE KUCERA (2010).

O LSI é aplicado para concentrações de STD de no máximo 10.000 ppm.

Para águas com concentrações maiores utiliza-se o índice de saturação de Stiff-Davis (SDSI) o qual é obtido pela Equação 18 (FILMTEC, 2010).

EQUAÇÃO 18 – ÍNDICE DE SATURAÇÃO DE STIFF-DAVIS (SDSI)

$$SDSI = pH - pCa - p_{alca} - K$$

Em que:

pCa: $-Log_{10}[Ca^{+2}]$,sendo $[Ca^{+2}]$ expresso em ppm de $CaCO_3$;

p_{alc}: $-Log_{10}$[alcalinidade total], sendo [alcalinidade] expressa em ppm;

K: constante baseada na força iônica total e na temperatura.

3.3.6 Limpezas

A limpeza das membranas é dependente da configuração do sistema e do tipo de membrana aplicada, sendo a freqüência de limpeza estimada pela eficiência do processo, podendo ser realizada principalmente através de dois métodos distintos: (1) limpeza hidráulica, (2) limpeza química. A Tabela 4 relaciona o tipo de precipitação na membrana com a eficácia de alguns processos de limpeza que podem ser efetuados nos sistemas.

TABELA 4 - EFICÁCIA DE ALGUMAS ESTRATÉGIAS DE LIMPEZA DE MEMBRANAS PARA REMOÇÃO DE DEPÓSITOS.

Tipo de Depósito	Estratégia de Limpeza			
	Limpeza Hidráulica	**Cloração da Alimentação**	**Acidificação de Alimentação**	**Limpeza Química**
Inorgânico	-	-	++	++
Particulado	++	-	-	++
Microbiano	+	++	+*	++
Orgânico	-	+	-	++

FONTE: SCHENEIDER E TSUTYIA (2001).

LEGENDA: (-) sem efeito ou com conseqüências negativas; (+) algum controle; (++) controle adequado; (*) em conjunto com cloração do efluente.

3.3.6.1 Limpeza Hidráulica

Consiste no processo de retrolavagem da membrana para remoção das tortas de filtro formadas sob a sua superfície. Esta técnica é rotineiramente aplicada em membranas de MF e UF. A retrolavagem é iniciada quando a pressão de filtração atinge um valor limite pré-estipulado, onde a eficiência do processo é reduzida a um nível no qual a continuação da filtração pode prejudicar irreversivelmente a membrana (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001). A água permeada é bombeada na direção contrária a direção de filtração, promovendo a remoção de partículas que possam estar acumuladas na superfície das membranas. A retrolavagem é um processo rápido, que dura entre 30 segundos a 1 minuto (MULDER, 1996).

Quando aplicada em sistema de osmose reversa compostas por membranas de TFC, porém, a lavagem é feita na mesma direção da filtração, pois, caso seja feita na direção contrária a fina camada filtrante pode sofrer o descolamento da camada porosa de sustentação (CÍCERO FRANCO, contato pessoal, 2010).

3.3.6.2 Limpeza Química

Consiste no método mais eficiente para a redução de *fouling* e *scaling*, pois remove constituintes que não são removidos através de limpeza hidráulica.

Na limpeza química um grande número de produtos pode ser aplicado separadamente ou de maneira combinada. A concentração e o tempo de aplicação destes produtos estão relacionados diretamente a resistência das membranas e são fundamentais para o sucesso da operação (MULDER, 1996).

Soluções alcalinas, como a soda cáustica, são utilizadas principalmente para remoção de *fouling* provocado por microorganismos, compostos orgânicos como proteínas, incrustações de sílica e sulfato; enquanto que soluções ácidas, como ácido sulfúrico, nítrico, acético, fosfórico; são utilizadas geralmente para remoção de compostos inorgânicos tais como incrustações formadas por carbonatos de cálcio e

precipitados de óxidos de ferro (JUDD e JEFFERSON, 2003; METCALF & EDDY, 2007).

Detergentes podem igualmente ser aplicados para limpeza das membranas, desde que a membrana não seja de poliamida (TFC). Outro produto que exige cuidado em sua aplicação é o hipoclorito, aplicado como desinfetante para auxílio nas limpeza, pois o cloro, como qualquer outro produto oxidante, é igualmente incompatíveis com membranas de poliamida (JUDD e JEFFERSON, 2003).

Segundo Kucera (2010) o momento para se realizar a lavagem química de membranas de um sistema de OR deve ser baseado na vazão padrão do permeado ou na queda da pressão desta linha. Se a vazão de permeado decair 10 a 15% da vazão inicialmente obtida ou se houver um aumento deste mesmo percentual na perda de pressão entre o a extremidade do canal de alimentação de alimentação e a de rejeito, a qual é detectada pela pressão no canal do permeado, a lavagem química deve ser efetuada. A limpeza tardia pode resultar em um *fouling* ou uma incrustação permanente da membrana, enquanto que limpezas muito freqüentes podem encurtar a sua vida útil.

3.3.7 Aplicações das membranas

A aplicação da tecnologia de membranas tem crescido dia a após dia, sendo as suas principais aplicações nas áreas de tratamento de água e efluentes apresentada no Quadro 12.

Aplicação	Descrição
Microfiltração e Ultrafiltração	
Tratamento biológico aeróbio	A membrana é usada para separar o efluente tratado da biomassa em suspensão de processos de lodos ativados. A unidade de SPM pode ser imersa dentro do bioreator de lodos ativados ou pode ficar fora. Estes processos são conhecidos como processo bioreator-membrana.
Tratamento biológico anaeróbio	A membrana é usada para separar o efluente tratado da biomassa em suspensão em um reator anaeróbio.
Tratamento biológico de aeração por membranas	Membranas tipo placa plana, tubular e ocas são usadas para transferir oxigênio puro para a biomassa fixa do lado de for a da membrana. Estes processos são conhecidos como processo de aeração por membrana em bioreator.
Tratamento biológico de extração por membranas	Membranas são usadas para extrair moléculas orgânicas degradáveis de contituintes inorgânicos como ácidos, bases e sais de efluente de tratamento biológico. Estes processos são conhecidos como processo de extração por membrana em bioreator.
Pré-tratamento para desinfecção	Usado para remover residual de sólidos suspensos de efluente secundário decantado ou de efluentes provindos de filtração superficial ou profunda com o objetivo de atingir desinfecção efetiva utilizando cloro ou radiação UV (aplicação de reúso).
Pré-tratamento para nanofiltração e osmose reversa	Microfiltros são usados para remover o residual coloidal e os sólidos suspensos como pré-tratamento de um processo mais restritivo.
Nanofiltração	
Reúso de Efluente	Usado para tratar efluente pré-filtrado (normalmente com microfiltração) para aplicações de reúso potável indireto como a injeção do efluente em águas subterrâneas. É apropriada a desinfecção do efluente quando se usa nanofiltração.
Abrandamento de Efluente	Usado para reduzir a concentração de íons multivalentes, que contribuem para a dureza de específicas aplicações de reúso.
Osmose Reversa	
Reúso de Efluente	Usado para tratar efluente pré-filtrado (normalmente com microfiltração) para aplicações de reúso potável indireto como a injeção do efluente em águas subterrâneas. É apropriada a desinfecção do efluente quando se usa osmose reversa.
Dispersão do Efluente	O processo de osmose reversa demonstra capacidade de remover grandes amostras de compostos seletos, tais como NDMA - N-nitrosodimethylamne.
Tratamento em dois estágios para uso em caldeiras	Usando osmose reversa em dois estágios é possível produzir água adequada para uso em caldeiras de alta pressão.

QUADRO 12 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE MEMBRANAS.

FONTE: ADAPTADO EM PARTE DE STEPHENSON *ET AL.*, (2000) (CITADO POR METCALF & EDDY, 2003).

3.3.7.1 Aplicação de membranas no reuso de água

A produção de água de reuso a partir de efluentes secundários envolve a utilização de membranas de MF e UF enquanto que NF e principalmente OR são mais aplicadas quando o efluente consiste em esgoto microfiltrado, devido à formação de *fouling* e *scaling*.

Em uma das condições aplicadas durante este estudo foram utilizadas as tecnologias de bioreatores de membrana (MBR) como pré-tratamento seguido da tecnologia de OR. Portanto neste capítulo o sistema de tratamento por MBR será apresentado de maneira sucinta, e a tecnologia de OR descrita em maiores detalhes uma vez que corresponde ao objeto principal de estudo deste projeto.

3.3.7.1.1 Reator Biológico de Membrana

O MBR consiste em um tratamento que agrega ao processo biológico a tecnologia de membranas, eliminando assim umas das principais limitações do sistema de lodos ativados: a separação gravitacional dos sólidos suspensos através dos decantadores secundários. (TRUSSEL *et al* ., 2005; METCALF & EDDY, 2007).

O MBR utiliza membranas de UF e MF de baixa pressão para separação dos sólidos suspensos presente na água, agregando a oxidação biológica pelo processo de lodos ativados, a clarificação e a filtração por membranas em uma única unidade de operação. (TRUSSEL *et al.,* 2005).

Segundo Rosenberger *et al.* (2006); o desempenho do processo depende da interação das membranas ao processo de lodos ativados e das condições operacionais de ambos os sistemas, podendo este ser influenciado por:

a) Material das membranas;
b) Condições hidrodinâmicas como fluxo por entre as membranas, diferença de potencial transmembrana e velocidade;

c) Condições operacionais como temperatura, idade de lodo, tempo de retenção hidráulico, concentração de oxigênio, vazão de entrada;
d) Características do lodo ativado como controle dos SS e dos SSV, da presença de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) relacionadas aos microorganismos ou na fase líquida e viscosidade.

As principais vantagens de um sistema por MBR comparado aos processos convencionais incluem (1) a capacidade de operação utilizando uma alta concentração de biomassa, (2) reduzida área de implantação conferindo a característica compacta ao sistema, (3) baixa produção de lodo, (4) melhor qualidade da água tratada e (5) a remoção de nitrogênio através do processo simultâneo de nitrificação e denitrificação que pode ocorrer no interior do sistema (STEPHESON *et al.,* 2000).

a) Nos processos de lodos ativados o controle da concentração de sólidos suspensos de massa líquida (MLSS) no interior do tanque de aeração é limitado pela carga de sólidos do decantador secundário. A substituição destes equipamentos pelo sistema por membranas possibilita a operação com altas concentrações de sólidos no interior do reator evitando, consequentemente, problemas de clarificação e crescimento de bactérias filamentosas (METCALF & EDDY, 2007).
b) A combinação de várias unidades de operação em uma única apenas e a capacidade de operação com uma concentração maior de sólidos no interior destes tanques reduz significativamente o tamanho dos sistemas comparado aos processos convencionais por lodos ativados (VANDIJK E RONCKEN, 1997).
c) O MBR possui uma faixa de operação mais ampla permitindo que estes sistemas sejam operados com altas vazões volumétricas e altos valores de idade de lodo, o que implica em menor tempo de retenção hidráulico e menor produção de lodo. Além disso promove uma perfeita clarificação mesmo com altas taxas de concentração de sólidos (METCALF & EDDY, 2003; TRUSSEL *et al.,* 2005).
d) O tratamento por MBR resulta em um efluente final de alta qualidade, com baixos índices de turbidez, SST, DBO, DQO e até mesmo vírus e bactérias, os quais não são removidos nos processos convencionais

(METCALF & EDDY, 2003). O MBR é muito utilizado ainda como pré-tratamento de sistemas de NF ou OR, para obtenção de uma água de reuso de qualidade ainda melhor;

e) Uma vez que houver o controle operacional de modo a atingir baixas concentrações de oxigênio dissolvido e alta idade de lodo, os processos de nitrificação e denitrificação podem ocorrer simultaneamente no interior dos bioreatores de membrana (METCALF & EDDY, 2007).

No processo de Lodos Ativados, outro parâmetro importante consiste na relação A/M (ou F/M), que corresponde a razão entre o alimento presente no efluente de entrada e os microorganismos presentes no interior do tanque de aeração (SSVTA), conforme Equação 19:

EQUAÇÃO 19 RELAÇÃO ALIMENTO/MICROORGANISMO

$$\frac{A}{M}\left(\frac{Kg\ DBO}{Kg\ SSVTA\ .\ d}\ ou\ d^{-1}\right) = \frac{Q\ x\ S_0}{X_{av}\ x\ V}$$

Em que:

A: Alimento, em Kg DBO;

M: Microorganismos, em Kg SSVTA . dia;

Q: Vazão de entrada do sistema, em m³/dia;

S_0: DBO na água de alimentação ou afluente, mg/L;

X_{av}: Concentração de SSV no interior do tanque de aeração, em mg/L;

V: Volume do tanque de aeração, em m³.

Segundo Jordão e Pessôa (2009), os valores da relação A/M usualmente utilizados para sistema de lodos ativados de aeração prolongada estão na faixa de 0,07 e 0,1 d^{-1}. Este parâmetro pode ser utilizado para dimensionamento do tanque de aeração, pois escolhidos o A/M e X_{av}, o volume do tanque é obtido ou como parâmetro de controle operacional, buscando operações específicas na ETE que façam manter a relação desejada, visto que seus valores estão correlacionados com a eficiência de remoção de DBO.

Uma vez que uma das principais características dos reatores de membrana consiste na operação com altas concentrações de SSV em seu interior, a relação de A/M para estes sistemas também apresenta valores mais elevados, os quais, segundo Metcalf & Eddy, 2004, encontram-se na faixa de 0,1 – 0,4 d^{-1}. Ambas estas características contribuem para o menor volume dos reatores.

Os módulos de membranas de UF e MF geralmente utilizadas são os de fibra oca e de placas. A configuração do sistema pode ser de duas diferentes maneiras: (a) externo ao tanque de aeração ou (b) submerso em seu interior. Quando externo ao tanque são utilizadas, ainda, membranas tubulares (TRUSSEL *et al.,* 2005; METCALF & EDDY, 2007). A Figura 10 ilustra estas diferentes configurações.

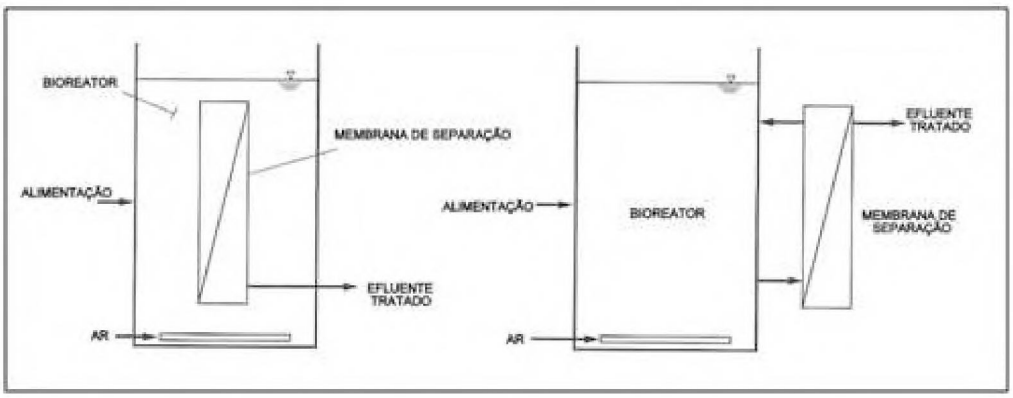


FIGURA 10 - DIFERENTES CONFIGURAÇOES DO SISTEMA DE MBR
FONTE: METCALF & EDDY (2007).

Yamoto *et al.* (1989) foram os primeiros a introduzir o sistema de membranas submerso para separação de sólidos da massa líquida no interior do tanque de aeração. Antes disso os estudos eram todos concentrados em sistema externos. Na configuração externa, também conhecida como sistema *cross flow* ou reator de membrana externo (EMBR), o lodo ativado é bombeado para módulos de membranas externos ao reator aerado. A maior desvantagem destes sistemas são as altas vazões de recirculação, que podem atingir valores 20 a 30 vezes maiores que os valores de água produzida, implicando na instalação de bombas de alta potência e, consequentemente, em um alto consumo energético (GANDER *et al.,* 2000, YANG et al., 2006).

Os sistemas de membranas submersas consomem muito menos energia, sendo submetidos a uma pressão negativa a qual induz a filtração do tipo *outside-in*, em que o permeado passa por entre as membranas ficando os sólidos retidos no interior do reator ou tanque de separação. Os módulos de membranas podem estar imersos diretamente no tanque de aeração ou alocados em tanque anexo a este (METCALF & EDDY, 2007).

A principal desvantagem dos bioreatores de membrana, como de todos os processos de membranas, é a dificuldade de controle da obstrução de seus poros. Segundo Kimura *et al.* (2005), o conhecimento para elaboração de regras gerais para controle ao *fouling* em MBR's é insuficiente. Considerando que o lodo ativado é composto basicamente de partículas sólidas/microorganismos e colóides; o impacto destes no *fouling* ainda é muito discutido pelos pesquisadores.

No caso das membranas imersas diretamente no tanque de aeração, os difusores de bolha fina além de promoverem a oxigenação do tanque, de modo a manter as condições adequadas ao sistema aeróbio, auxiliam na limpeza das membranas, removendo o excesso de material que pode estar presente sob a superfície destas. Este controle pode ainda ser feito com a instalação de difusores de bolha grossa, muitas vezes alocados abaixo dos módulos de membranas, os quais têm a função somente de promover a turbulência da massa líquida ou, através da temporização da retrolavagem. A freqüência e o fluxo das retrolavagens dependem das condições operacionais e ambientais caso a caso (BOUHABILA *et al.,* 2001; TRUSSEL *et al.,* 2005, YANG *et al.,* 2006; METCALF & EDDY, 2007).

Quando o sistema apresenta uma constante queda na pressão ou no fluxo de permeado significa que as membranas estão obstruídas. Este não é mais um caso de controle e sim de recuperação das membranas, a qual é feita através da limpeza química. Geralmente as membranas são removidas do sistema e imersas em solução de hipoclorito de sódio por 24 horas, ou em solução de hipoclorito seguida de solução de ácido clorídrico, de modo a remover as incrustações presentes em sua superfície (YANG *et al.,* 2006; METCALF & EDDY, 2007).

3.4 OSMOSE REVERSA

A OR consiste em uma técnica de desmineralização baseada em membranas para separação de sólidos dissolvidos de uma solução, tais como os íons. Compreende na tecnologia de filtração que remove as partículas de menor massa molecular presentes em uma solução (KUCERA, 2010).

3.4.1 Princípio de Operação

No fenômeno natural conhecido como osmose, o solvente ou, na maioria das vezes, a água; atravessa a membrana do lado de menor concentração de STD para o de maior concentração, diluindo-o. Isto ocorre porque a presença do soluto ocasiona uma queda no potencial químico do solvente na solução, provocando um gradiente de potencial químico entre os dois lados da membrana. A passagem de água se dá até que o equilíbrio do potencial químico seja estabelecido. Considera-se então que o equilíbrio osmótico foi atingido e a diferença de pressão (ΔP) entre os dois lados da membrana é definida com o sendo a diferença de pressão osmótica ($\Delta\pi$). No caso de duas soluções de diferentes concentrações o equilíbrio é atingido por igualdade de concentração. (SINKAR & HO, 1992; METCALF & EDDY, 2003, HABERT *et al.*, 2006).

Ao se aplicar pelo lado da solução mais concentrada uma diferença de pressão entre as duas soluções superior a diferença de pressão osmótica, o potencial químico da água na solução concentrada será maior que o potencial químico da água na solução diluída e o fluxo natural é então invertido: a água passa a atravessar a membrana na direção da solução mais concentrada para a de menor concentração. A este fenômeno denominamos osmose reversa, o qual é ilustrado na Figura 11 (HABERT *et al.*, 2006).

A pressão osmótica consiste em uma propriedade coligativa e, portanto, depende do número de íons, moléculas ou partículas presentes na solução. Assim,

para uma mesma concentração mássica, a pressão osmótica de soluções de solutos de baixa massa molar será muito maior do que de soluções de macromoléculas ou de suspensões. Por este motivo que as pressões aplicadas em sistemas de OR são bem mais elevadas do que as aplicadas em sistema de UF e MF, por exemplo (HABERT *et al.*, 2006).

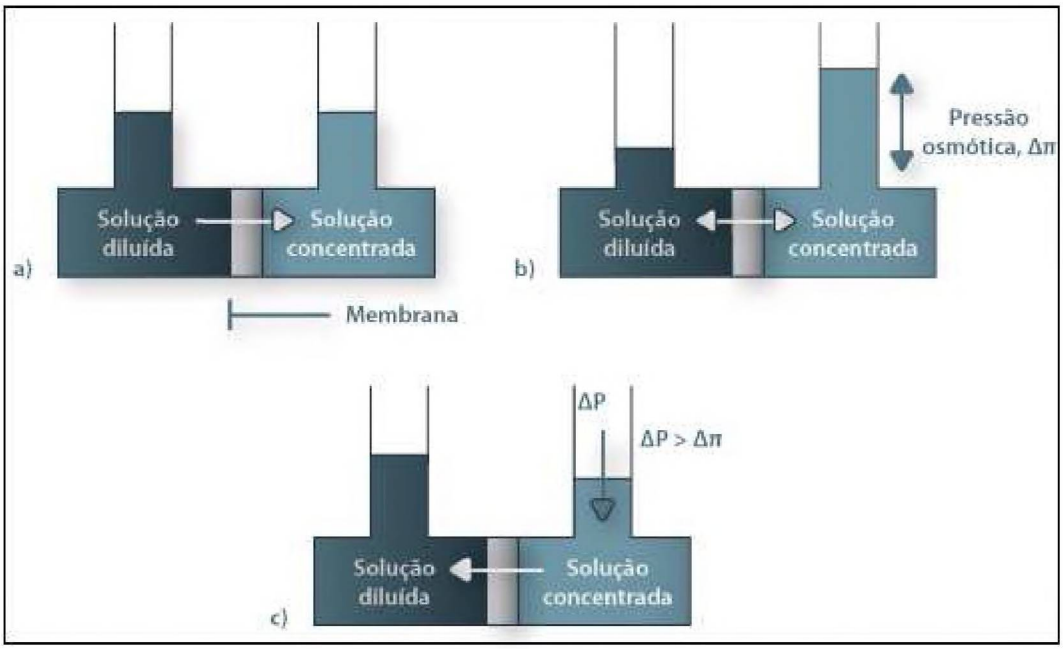


FIGURA 11 - FÊNOMENO DE OSMOSE E PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DA OSMOSE REVERSA.

FONTE: PORTAL LABORATÓRIOS VIRTUAL DE PROCESSOS QUÍMICOS (ACESSO EM 23/10/2010).

LEGENDA: (a) Osmose; (b) Equilíbrio osmótico; (c) Osmose reversa.

3.4.2 Componentes de um sistema

No Quadro 13 são apresentados os principais componentes de um sistema de OR. O conjunto de todos estes dispositivos e acessórios de fundamental importância para o funcionamento do sistema, formam um *skid* de membrana.

Filtro de Cartucho	Filtro de baixa pressão com porosidade variando entre 5 - 15µm sendo 5µm a porosidade usualmente utilizada. São instalados anteriormente ao sistema de OR. Consistem em uma última proteção das membranas com relação a sólidos suspensos ou material coloidal. A maioria destes filtros são constituídos de polipropileno e possuem entre 800 a 1000 mm de comprimento, sendo alocados em vasos de aço inox ou fibra de vidro. Podem ser instalados no sentido vertical ou horizontal. A porosidade usual destes componentes em sistema de OR é de 5µm, porém quando a água de alimentação possui sílica coloidal ou silicatos de tratamento são geralmente aplicados filtros de porosidade entre 1 - 3µm.
Bombas de Alta Pressão	Membranas centrífugas do tipo *booster* de alta pressão
Vasos de Pressão	No interior dos vasos de pressão são alocados os módulos de membrana. Construídos, geralmente, em fibra de vidro ou aço inox e seus tamanhos são de acordo com o número de módulos instalados em série e o diâmetros dos mesmos. Uma vez que tem esta diretamente em contato com as altas pressões de alimentação sua resistência depende das condições de entrada do sistema.
Instrumentação	A instrumentação em sistemas de OR é fundamental para controle e monitoramento do processo, de maneira a prevenir danos ao sistema. Os seguintes parâmetros devem ser monitorados: . Pressão: Influente bruto, canal de alimentação, rejeito, permeado e entre estágios . Vazão: Influente bruto, produto e entre estágios . Condutividade: Influente bruto, produto, rejeito e entre estágios . Temperatura: Influente bruto . Cloro: Influente bruto . pH: Influente bruto

QUADRO 13 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE OR.
FONTE: ADAPTADO DE METCALF & EDDY (2007); KUCERA (2010).

3.4.2.1 Qualidade da água de alimentação

As membranas de OR apresentam-se intolerantes a inúmeros compostos, uma vez que o sistema de osmose reversa tem como principal finalidade a remoção de sais.

Geralmente as águas de subsolo apresentam-se biologicamente estáveis, com baixas cargas de microorganismos formadores de biofouling ou de compostos orgânicos. Eventualmente se faz necessária a correção de pH e a dosagem de um produto anti-incrustante, porém em alguns casos estas águas são diretamente bombeadas para o sistema de membranas. É recomendado portanto que seja feita

uma pré-filtração por filtro de cartucho, para remoção de sólidos remanescentes que podem estar presentes na água (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001).

Porém no caso de tratamento de água de superfície ou tratamento de efluentes, cuidados especiais são necessários para seu dimensionamento, sendo necessária a detecção e o controle de alguns constituintes tais como: (1) sólidos suspensos totais ou turbidez; (2) microorganismos; (3) compostos orgânicos; (4) cor; (5) metais pesados; (6) sulfeto de hidrogênio; (7) sílica; (8) carbonato de cálcio (9) cloro; (10) cálcio; (METCALF & EDDY, 2007; KUCERA, 2010).

3.4.2.1.1 Sólidos suspensos totais

Os sólidos suspensos totais (SST) correspondem as partículas que são retidas por filtro de porosidade entre 0,45 µm a 2,0 µm, sendo tipicamente mensurado através da turbidez da água (METCALF & EDDY, 2004). Uma vez que o processo de OR consiste em uma tecnologia para remoção de STD é recomendado pelos fabricantes de membranas que a água de alimentação do sistema não exceda a turbidez de 1 NTU (KUCERA, 2010) .

Os sólidos suspensos (SS) podem se acumular na superfície da membrana causando o seu entupimento; provocando assim queda na produtividade e na pressão do canal de permeado do sistema. Os processos podem ainda apresentar uma queda na eficiência de remoção de sais (KUCERA, 2010).

Segundo Judd e Jefferson (2007) e Kucera (2010) outra maneira de mensurar os SS de uma água, particularmente o material coloidal derivado de silicatos de alumínio ou ferro e material orgânico, consiste no índice SDI. Este índice não tem correlação alguma com a turbidez, sendo recomendado pelos fabricantes de membrana valores de SDI na água de alimentação abaixo de 5.

3.4.2.1.2 Microorganismos

O potencial ao *fouling* biológico pode ser determinado através da quantidade de carbono orgânico assimilável (COA) presente na água de alimentação. Segundo Kucera (2010) para evitar este tipo de *fouling* é recomendado a operação com valores de COA abaixo de 10 µg/L, sendo que a Dow Water Solutions recomenda que este esteja abaixo de 5 µg/L.

3.4.2.1.3 Compostos Orgânicos

A adsorção de orgânicos pela superfície da membrana resulta em uma perda de fluxo que, em alguns casos, pode ser permanente. Um problema maior é observado quando os compostos estão emulsionados facilitando, assim, a formação de filme orgânico sob a superfície da membrana (METCALF & EDDY, 2007; KUCERA, 2010).

Segundo KUCERA (2010) a fração de orgânicos é mensurada através do carbono orgânico total (COT). Para diminuir o potencial ao *fouling* por estes compostos são recomendados valores menores que 3ppm deste composto nas águas influentes a um processo de OR. Quanto as concentrações de óleos e gorduras, as quais tem a característica de rapidamente serem adsorvidos pelas membranas de poliamida, são recomendados valores abaixo de 0,1 ppm.

Ainda, segundo KUCERA (2010) estes compostos podem ser removidos da membrana através da limpeza alcalina, porém, se redução de fluxo durante a filtração for maior que 15% com relação ao inicialmente obtido, há grande probabilidade deste dano ser irreversível.

Para remoção dos compostos orgânicos pode ser feito um pré-tratamento através de coagulação, floculação e desinfecção por Ultravioleta (UV) ou filtração por carvão ativado enquanto que a remoção dos óleos e graxas podem ser realizada

igualmente por tratamento físico químico, filtração por carvão ou ainda por flotação através de ar dissolvido (METCALF & EDDY, 2007).

3.4.2.1.4 Cor

A coloração de uma água pode ter sua origem natural, devido a decomposição da matéria orgânica, principalmente ácido húmicos e fúlvicos e a presença de ferro e manganês ou de forma antropogênica, devido a lançamentos industriais e de esgotos domésticos (VON SPERLING, 1996).

A cor pode ser aparente ou real. Quando aparente a coloração é formada por sólidos suspensos e dissolvidos, podendo incluir em seu valor ums parcela de turbidez; enquanto que a cor real é mensurada após filtração da matéria suspensa compreendendo assim apenas a parcela devida a compostos orgânicos dissolvidos (VON SPERLING, 1996).

Uma vez que a cor é formada por compostos orgânicos, ela é adsorvida da mesma forma pela superfície da membrana. Quando a água tem aparência de marrom escura, quase preta provavelmente há presença de ácidos húmicos e estes precipitam com a acidificação, enquanto que os ácidos fúlvicos não precipitam quando acidificados e conferem a água uma coloração que varia entre o amarelo e marrom claro (KUCERA, 2010).

Segundo KUCERA (2010), a adsorção de cor pela membrana é favorecida quando os compostos são hidrofóbicos ou carregados positivamente. Valores altos de pH ajudam a minimizar o *fouling* devido a cor, porém aceleram a incrustação por carbonatos de cálcio. É recomendado valor de cor real inferior a 3,0 Hazen.

3.4.2.1.5 Metais

Os metais podem estar presentes na água de alimentação na forma de óxidos ou em sua forma solúvel, que, por sua vez, em contato com o oxigênio forma óxidos e precipita. A precipitação de metais, principalmente de ferro, manganês e alumínio rapidamente se acumulam na membrana provocando uma queda elevada da pressão no canal de permeado e uma redução na produtividade do sistema. O ferro e o manganês em sua forma solúvel também provocam danos, uma vez que catalizam a oxidação da membrana degradando-a. Neste caso observa-se uma redução na eficiência de remoção de sais e um aumento na produtividade (KUCERA, 2010).

No caso do alumínio, este pode reagir na água com a sílica, mesmo esta estando presente em baixa concentração, menor que 10 ppm, formando silicato de alumínio que igualmente colmatam a membrana (KUCERA, 2010).

3.4.2.1.6 Sulfeto de Hidrogênio

O sulfeto de hidrogênio é formado pela decomposição anaeróbia de compostos que contém enxofre ou pela redução dos minerais sulfato e sulfito. Consiste em um gás tóxico, incolor, de odor forte. Na presença da alta oxigenação não há formação deste composto (METCALF & EDDY, 2003).

Pelo fato do sulfeto de hidrogênio ser um gás, não é rejeitado pela membrana e, portanto, caso não seja removido anteriormente à OR, estará presente no permeado.

Este composto facilmente oxida-se liberando enxofre, que , por sua vez, tem a propriedade de se prender na membrana causando um dano irreversível, tal como redução do fluxo e aumento na passagem dos sais ao longo do tempo (KUCERA, 2010).

Alguns recomendam que não seja feita nenhum tratamento para sua remoção, porém que seja garantida a presença de O_2 ou outro oxidante na água de alimentação, enquanto outros fabricantes recomendam a remoção através de filtros com materiais filtrantes específicos ou através de oxidação, coagulação, filtração, adição de sulfeto e posterior cloração.

3.4.2.1.7 Sílica

A sílica em sua forma solúvel, insolúvel ou reativa pode causar problemas para o sistema de OR, formando um gel na superfície da membrana. Na presença de metais pesado, como ferro e alumínio, o risco é ainda maior devido a formação de silicatos e consequente precipitação destes (SCHENEIDER e TSUTIYA, 2001).

Segundo Kucera (2010), a sílica solúvel tem um alto potencial para incrustação, sendo a sua remoção da superfície da membrana muito difícil. O *fouling* por sílica reduz a produtividade e aumenta a queda da pressão no canal do permeado enquanto que o *scaling* ou a incrustação pela mesma impacta na eficiência de remoção de sais, reduzindo-a. O valor recomendado para água de entrada é abaixo de 200 ppm.

3.4.2.1.8 Carbonato de Cálcio

Incrustações por carbonato de cálcio, depois do *fouling* provocado por microorganismos, consistem no problema mais usual em sistemas de OR.

Seu potencial de acúmulo é determinado pelo Índice de Saturaçao de Langelier ou pelo Índice de Saturação de Stiff-Davis, sendo desejados valores próximos de zero para que este problema não ocorra (JUDD e JEFFERSON, 2003).

Para controle de incrustações podem ser dosados durante a operação do sistema produtos denominados como anti-incrustantes conforme citado na seção

3.4.6.4. A maioria destes produtos foram desenvolvidos, principalmente, para controle de incrustações de carbonato de cálcio; apresentando resultados satisfatórios para valores de LSI entre +2,0 e +2,5. Todavia, alguns anti-incrustantes controlam também incrustações por fluoreto de cálcio e sulfato de cálcio (JUDD e JEFFERSON, 2003; KUCERA, 2010).

Segundo Kucera (2010), membranas incrustadas apresentam menor produtividade e baixa rejeição de sais.

3.4.2.1.9 Cloro

Membranas de poliamida são muito sensíveis a presença de cloro livre. Sua degradação é praticamente imediata. O polímero que compõe a membrana passa a se dissolver e a exposição de 200 a 1000 horas a 1,0 ppm deste composto pode resultar em redução significativa de sua capacidade de rejeição. O prejuízo causado a membrana é irreversível e a degradação se mantém contínua enquanto existir a presença deste oxidante. O primeiro sinal observado em sistemas com membranas atacadas por cloro consiste na redução de fluxo de permeado (KUCERA, 2010).

Dióxido de cloro e cloroaminas também são indesejadas por membranas de poliamida. Além disso, na presença de cloroamidas, se o pH for igual ou maior do que 9,0 possivelmente há a presença de amônia em sua forma gasosa, a qual provoca um "inchaço" em membranas deste tipo de material, provocando queda na rejeição da sais para valores abaixo de 85%. A redução deste pH para 7,0 permite que a amônia seja convertida ao íon amônio, este íon, por sua vez, não provoca este efeito e a membrana, então, retorna ao seu estado original (FILMTEC, 2010; KUCERA, 2010).

Além do tratamento por filtros de carvão ativado e radiação de ultravioleta, a decloração pode ser feita pela dosagem de metabisulfito de sódio na corrente de alimentação, sendo recomendado a dosagem de 2,0 mg/L deste produto a concentração de 100%, para cada 1,0 mg/L de cloro livre presente na água de alimentação (KUCERA, 2010).

3.4.2.1.10 Cálcio

Existem outros compostos que apresentam o cálcio como seu constituinte além do carbonato de cálcio e que igualmente provocam incrustações ou *scaling* nas membranas tais como o fluoreto de cálcio, sulfato de cálcio e fosfato de cálcio (SCHENEIDER E TSUTYIA, 2001).

Sua presença também interfere nos depósitos de compostos orgânicos acelerando a precipitação de ácidos húmicos e resultando em uma queda elevada do fluxo de permeado. Quanto maior a quantidade de cálcio, mais rápida será a queda deste fluxo (KUCERA, 2010).

3.4.3 Tecnologias de Pré-tratamento

No Quadro 14 são listados os limites dos parâmetros de qualidade geralmente adotados para águas influentes de sistemas de OR. Estes padrões são adequados para membranas de poliamida, podendo sofrer pequenas variações de fabricante para fabricante. Sua presença nas águas de alimentação potencializam-nas à ocorrência do *fouling* e de *scaling*, exigindo que seja adotado pré-tratamento adequado, de acordo com os compostos presentes nesta (MULDER, 1996, KUCERA, 2010).

Espécie	Unidade	Valores usualmente recomendados
Partículas coloidais	SDI	< 5,0
Sólidos suspensos	NTU	< 1,0
Carbonato de Cálcio	LSI	< 0 *1
Metais: Ferro, Manganês, Alumínio	ppm	< 0,05
Bário e Estrôncio	ppm	< 0,05
Sulfeto de Hidrogênio	ppm	< 0,1
Microorganismos	CFU/ml	< 1.000 ¹
Sílica solúvel	ppm	140 - 200 ²

continua

continuação

COT	ppm	< 3
Cor	Hz	< 3
DBO	ppm	< 10
pH - Membranas de AC	-	4 - 6
pH - Membranas de PA	-	2 - 12 [3]
Cloro Livre - Membranas de AC	ppm	< 1,0
Cloro Livre - Membranas de PA	ppm	< 0,02
Temperatura - Membranas de AC	℃	< 30
Temperatura - Membranas de PA	℃	< 45

QUADRO 14 - PRINCIPAIS COMPOSTOS QUE DEVEM SER MONITORADOS NA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE OR E OS LIMITES USUALMENTE TOLERADOS.
FONTE: ADAPTADO DE KUCERA (2010).

LEGENDA: * Pode ser valores entre +2,0 - + 2,5 dependendo do anti-incrustante aplicado; [1] na corrente de rejeito;

Inúmeros são os pré-tratamentos que podem ser empregados para reduzir a formação de *fouling* e *scaling* e a degradação da membrana. No Quadro 15 são listadas algumas destas tecnologias (JUDD e JEFFERSON, 2003):

Composto responsável pelo Fouling ou scaling	**Pré-tratamento para sua remoção**
Sólidos Suspensos	< 2 mg/L - Filtro de Cartucho de 5µm de porosidade > 2 mg/L - Filtração por Filtro de Areia Microfiltração
Material Coloidal Orgânico e Inorgânico	Ultrafiltração Filtraçao por Carvão Antracitoso Processo de Coagulação e Filtração em linha
Alcalinidade ($CaCO_3$)	LSI < 2 - Dosagem de Produto Anti-incrustante LSI > 2 - Adiçao de Ácido, Processo de Troca Iônica ou Dealcalinização
Sílica Ativa	Dealcalinização com Óxido de Magnésio
Dureza	Dosagem de Produto Anti-incrustante Abrandamento Dealcalinização
Residuais de Sulfato ($CaSO_4$)	Dosagem de Produto Anti-incrustante
Oxídos Metálicos (Ferro e Manganês)	Aeração e Filtração Flotação por Ar Dissolvido Óxido Catalítica (Filtração por filtro tipo *"Greensand"*) Oxidação Química e Filtração
Cloro Livre	Carvão Ativado Redução Química
Compostos Orgânicos Dissolvidos (NOM, EPS, Detergentes Aniônicos)	Adsorção por Carvão Ativado Flotação por Ar Dissolvido
Material Biológico	Cloração/Decloração Ultravioleta (+ microfiltração)

QUADRO 15 - PRINCIPAIS CAUSADORES DE *FOULING* E *SCALING* E OS PRÉ-TRATAMENTOS APLICADOS PARA REMOÇÃO DESTES COMPOSTOS DE ÁGUAS DE ALIMENTAÇÃO DE SISTEMA DE OR.
FONTE: ADAPTADO DE JUDD E JEFFERSON (2003, P.67).

LAGENDA: (NOM) Matéria orgânica de origem natural; (EPS) Substâncias poliméricas extracelulares.

3.4.4 Operação de sistemas

3.4.4.1 Arranjos

Consiste no número de vasos de pressão operados por uma única bomba de alta pressão, que um determinado sistema de OR ou NF contempla, podendo também ser denominado por *skid* (KUCERA, 2010).

Os processos de filtração por OR são limitados ou pela área da membrana ou pela taxa de filtração atingida por cada módulo. Por esta razão a maioria dos sistemas apresenta uma sequência de estágios que proporcionam um aumento do volume de permeado produzido (JUDD E JEFFERSON, 2003). Rendimentos maiores podem também ser obtidos instalando elementos de membrana em série no interior de um mesmo vaso de pressão. Neste caso o rendimento total por vaso de pressão será a soma dos rendimentos individuais de cada elemento, sendo possível alocar até nove elementos em cada vaso. (JUDD E JEFFERSON, 2003; SCHENEIDER E TSUTYIA, 2001). A desvantagem deste tipo de arranjo a água de alimentação se torna cada vez mais concentrada a medida que passa pelos módulos, podendo sua concentração ser restritiva para a alimentação de um próximo elemento de membrana (SIMIONATO, 2007).

Os vasos de pressão podem também ser operados em paralelo. Cada vaso de pressão operado em paralelo corresponde a um estágio, sendo a vazão total do sistema a soma das vazões dos vasos em cada estágio. Unidades de grande escala são construídas pela combinação de vários vasos de pressão em paralelo em cada estágio (SCHENEIDER E TSUTYIA, 2001). Na Figura 12 são ilustrados os termos acima definidos.

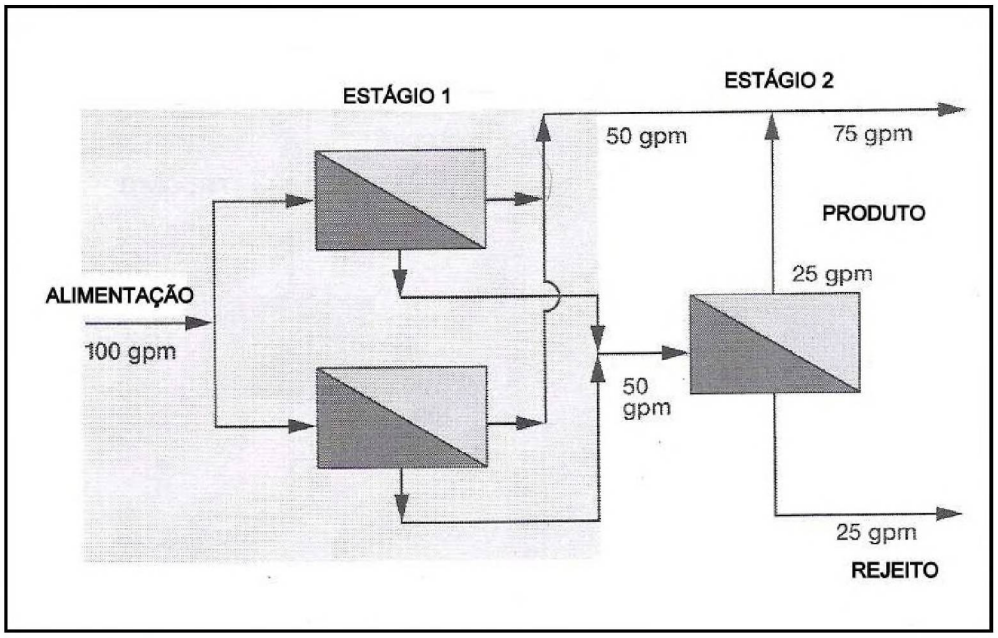


FIGURA 12 – ARRANJO COM DOIS ESTÁGIOS.
FONTE: KUCERA (2010).

No caso apresentado a vazão influente é igualmente dividida nos vasos de pressão alocados em paralelo no primeiro estágio. O permeado de ambos os vasos é misturado e encaminhado para um canal comum enquanto que o rejeito de ambos os vasos alimentam o segundo estágio composto por um único módulo de membrana. O permeado do segundo estágio, então, é igualmente misturado ao permeado coletado no primeiro estágio enquanto que o rejeito torna-se o rejeito de todo o sistema.

3.4.5 Monitoramento

Para o bom funcionamento de um sistema de OR é necessário que sejam monitorados alguns dados bem como saber interpretá-los. Este controle se deve ao fato principalmente do sistema ser formado por vasos fechados, sendo, portanto, o monitoramento visual da operação insuficiente para avaliação das condições reais das membranas e da água tratada.

Os dados pertinentes e seus respectivos pontos de monitoramento estão resumidos no Quadro 16.

Parâmetros de Controle	Entrada do Sistema	Entre os Estágios	Produto	Rejeito/Concentrado
Pressão	X	X	X	X
Vazão	X	X	X	
Condutividade	X	X	X	X
Temperatura	X			

QUADRO 16 - PARÂMETROS E SEUS RESPECTIVOS PONTOS DE MONITORAMENTO NO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA.

FONTE: KUCERA (2010).

A pressão, a concentração de sais, a vazão e a temperatura são parâmetros de fácil monitoramento e podem indicar possíveis problemas causados pelo *fouling*, *scaling* ou degradação da membrana.

Segundo Judd e Jefferson (2003), em complemento ao monitoramento sugerido no Quadro 15, outros parâmetros quando monitorados também contribuem para o controle do bom funcionamento do sistema tais como pH e SS presentes na água de entrada. Produtos químicos como anti-incrustantes, biocidas, anti-oxidantes ou qualquer outro que necessite ser adicionado na corrente de entrada devem igualmente ter suas dosagens monitoradas frequentemente.

3.4.5.1 Temperatura

Conforme a Figura 13, a temperatura influencia tanto no fluxo, quanto na remoção de compostos pelo sistema de OR. Considerando uma pressão constante, até a temperatura de 45℃, a passagem de água pela membrana é linearmente proporcional a temperatura, uma vez que a viscosidade da água diminui com o seu aumento. Porém, a rejeição de sais diminuiu levemente conforme a temperatura aumenta (KUCERA, 2010). Portanto, caso haja uma grande variação de temperatura entre o verão e o inverno a vazão da bomba de entrada do sistema deverá ser controlada por variador de freqüência.

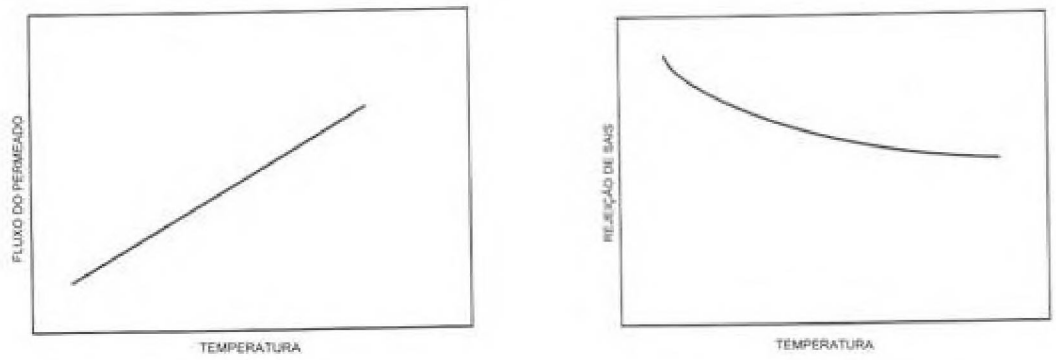


FIGURA 13 - A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO FLUXO DE PERMEADO E NA REJEIÇAO DE SAIS PELA MEMBRANA, ASSUMINDO PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE E TEMPERATURA ABAIXO DE 45℃.

FONTE: KUCERA (2010).

3.4.5.2 Condutividade

A condutividade é diretamente proporcional aos STD presentes na água, sendo, portanto, dependente da concentração de sais na entrada do sistema.

Conforme ilustrado nas Figuras 14, sob condições de pressão constante, a concentração de STD afeta o fluxo de água pela membrana e a taxa de rejeição destes compostos. A medida que a concentração de sais aumenta na entrada do sistema, representado pelo aumento da condutividade, a força que impulsiona a passagem da água diminui, pois a pressão osmótica do sistema aumentou. Isto resulta em uma queda de fluxo no sistema. A medida que a força de operação do sistema decresce, a quantidade de água que passa pela membrana em relação a quantidade de sal reduz, sendo observado, portanto, uma maior concentração de sais na corrente de permeado (KUCERA, 2010).

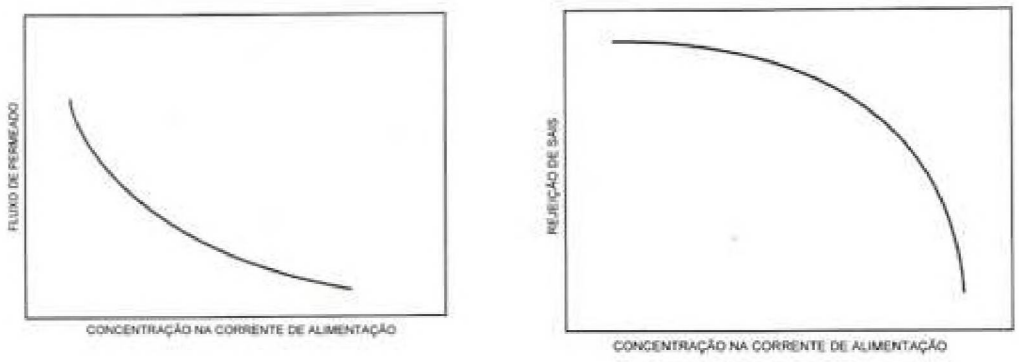


FIGURA 14 - A INFLUÊNCIA NO FLUXO DE PERMEADO E NA REJEIÇAO DE SAIS PELA MEMBRANA DE ACORDO COM A VARIAÇAO DA CONCENTRAÇAO DE SAIS NA ÁGUA DE ENTRADA, ASSUMINDO PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE

FONTE: KUCERA (2010).

3.4.5.3 Pressão

A pressão de operação afeta diretamente o fluxo de água pela membrana, uma vez que quanto maior a pressão, maior a vazão que passa por esta. Porém, uma vez atingida uma pressão suficiente que permita que o processo de filtração ocorra, a rejeição de sais independe deste parâmetro. A quantidade de sais que passa pela membrana é a mesma para pressões de operação baixas e altas (KUCERA, 2010). Todavia, como a vazão de água que passa pela membrana é diretamente proporcional a pressão de entrada, a concentração absoluta de sais no permeado é menor, dando a impressão de que a passagem de sais decresce e a rejeição destes compostos aumenta com o aumento desta, conforme apresentado nas Figuras 15. Caso seja observado uma queda na pressão na corrente do produto provavelmente os poros das membranas estão obstruídos.

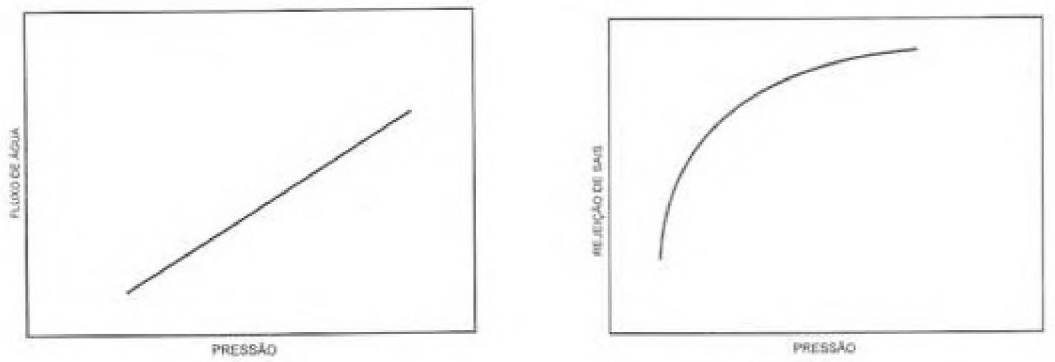


FIGURA 15 - A INFLUÊNCIA NO FLUXO DE ÁGUA E NA REJEIÇAO DE SAIS PELA MEMBRANA DE ACORDO COM A VARIAÇAO NA PRESSÃO DE ENTRADA DO SISTEMA.
FONTE: KUCERA (2010).

3.4.5.4 Vazão

O controle de vazão orienta o momento que as membranas necessitam ser lavadas. Além disso um aumento na queda da pressão do produto indica uma possível colmatação da membrana por *fouling* ou *scaling* assim como um aumento brusco desta vazão pode ser indicativo de que a membrana foi degradada e apresenta um ponto de vazamento (CÍCERO, CONTATO PESSOAL, 2010).

3.4.6 Desempenho dos sistemas de OR

Quando os sistemas de OR passam a apresentar problemas no seu desempenho tais como redução de vazão de permeado, queda na rejeição de sais e aumento na queda de pressão entre os canais de entrada e saída da OR, significa que suas características iniciais foram alteradas.

Além do *fouling* e *scaling*, os quais já foram discutidos, outros dois efeitos podem causar prejuízos ao sistema: a compactação da membrana e a sua degradação. O efeito de compactação consiste na compressão da membrana de modo a torná-la mais densa. Isto pode ocorrer devido a elevadas pressões de

entrada e temperatura e altos valores de dureza na água de alimentação. Por sua vez, a degradação da membrana consiste na perda da integridade do polímero que a compõe, causado pelo ataque de algum oxidante, tal como cloro, dióxido de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio, entre outros. Neste caso a água passa livremente para o canal de permeado, aumentando a vazão desta corrente.

O Quadro 17 classifica as possíveis causas que prejudicam o desempenho da filtração por OR com os respectivos efeitos que estas provocam ao sistema.

Causas Usuais que prejudicam o desempenho da OR	**Fluxo de Permeado**		**Remoção de Sais**		**ΔP = PressãoSaída - Pressão Alimentação**	
	Queda	**Aumento**	**Queda**	**Aumento**	**Queda**	**Aumento**
Fouling	x					x
Scaling	x		x			x
Compactação	x			x		
Degradação		x	x			
Problemas com o Equipamento (*)		x				
Falha de instrumentação					x	

QUADRO 17 - POSSÍVEIS CAUSAS QUE PROVOCAM PREJUÍZO NO DESEMPENHO DOS SISTEMA DE OR E OS RESPECTIVOS EFEITOS QUE ESTAS PROVOCAM.

LEGENDA: (*) Principalmente vazamentos devido a quebra do o-ring de vedação.

3.4.7 Disposição do Rejeito

O sistemas de OR ou NF produzem dois descartes durante o seu processo que devem ser considerados durante em fase de projeto, que são o rejeito ou concentrado e o efluente das limpezas químicas.

Como o volume do despejo das lavagens químicas é reduzido, muitas vezes estes são diluídos junto a corrente de rejeitos. Em plantas para produção de água de reuso a partir de efluente secundário, este despejo é retornado ao tratamento, estando estas geralmente localizadas junto as estações de tratamento de esgoto. Em alguns casos o despejo é neutralizado antes de sua disposição (SCHENEIDER e TSUTYIA, 2001; METCALF & EDDY, 2007).

O despejo mais problemático consiste no concentrado ou rejeito, uma vez que todos os compostos removidos pela membrana estão presentes nessa corrente. Além disso o rendimento destas unidades estão entre 80 a 90%, o que torna a concentração de sais no rejeito cerca de 5 a 10 vezes superior a concentração na alimentação (SCHENEIDER e TSUTYIA, 2001).

Porém a alta concentração de sais não é o único agravante para a sua disposição. Fatores como volume produzido e legislação também tem que ser levados em consideração. Em plantas de OR o volume de rejeito gerado corresponde de 15 a 50% do volume de alimentação, sendo estes considerados elevados. Quanto a legislação ambiental, este descarte se enquadra como um resíduo industrial e sua disposição pode ser regulada tanto por órgãos federais como também por estaduais ou leis locais, podendo sua disposição se tornar um alto custo no tratamento (METCALF & EDDY, 2007).

Diferentes métodos são aplicados para dispor estes resíduos. No Quadro 18 estão listados os principais tratamentos usualmente utilizados.

Opção de disposição	**Descrição**
Descarga no oceano	Esta disposição é uma opção de escolha de indústrias localizadas em regiões de costa. Normalmente, uma linha subterrânea é usada para promover as descargas de concentrado. Descarga combinada com água de resfriamento de usinas de energia tem sido usada na Flórida. Em localidades do interior se fazem necessários caminhões, ferrovias ou tubulações para transportar o concentrado.A descarga de rejeito gerado por sistema de tratamento de água de reuso provavelmente será proibida devido aos traços de outros compostos, tais como metais que podem estar presentes neste despejo.
Descarga nas águas superficiais	Descarga do concentrado em águas superficiais é o método mais comum de disposição do concentrado proveniente de água salgada, porém, dependendo da concentração de SDT da água receptora, descargas de rejeito com uma taxa muito alta de SDT não são permitidas.
Aplicação no solo	A aplicação no solo tem sido usada para alguns tipos de concentrado com baixa concentração de sais.

continuação

continuação

Descarga no sistema de coleta de esgotos	Esta opção é adequada apenas para pequenas descargas, as quais não aumentem significativamente os SDT (Ex.: menor que 20 mg/L). Para descargas maiores esta opção só é possível se a relação volume e SDT não interferir no processo de tratamento, na disposição do efluente final ou no reuso deste efluente. Rejeito com alta concentração de SDT podem impactar nas opções de disposição deste novo efluente que será gerado.
Descarga diretamente no efluente tratado	A descarga controlada junto ao efluente tratado por plantas de tratamento de esgoto de modo a misturá-lo e diluí-lo junto a esta descarga para posterior lançamento em águas de superfície ou oceanos nem sempre pode ser aplicada. Esta opção depende do tipo de descarga permitido e da legislação vigente no local onde os efluentes serão dispostos.
Lagoas de Evaporação	São necessárias extensas áreas superficiais, de preferências em regiões com clima quente, localizados nas faixas faixas tropicais e subtropicais.
Injeção em poços artesianos	Depende se a água subsuperficial do aquifero é salobra ou se ela não for apropriada para uso doméstico.
Aterros	Rejeitos muito concentrados podem ser dispostos em aterros controlados que recebem resíduos perigosos. Em alguns casos, este despejo pode ser evaporado e o sal resultante disposto em aterros municipais.
Disposição em torres de resfriamento	Consiste na segunda opção mais aplicada para este despejo. Sua aplicação depende da concentração de cálcio no rejeito uma vez que este pode causar incrustação no equipamento e do volume deste rejeito utilizado na água de make-up. Uma vez que as espécies presebtes no rejeito correspondem as mesmas encontradas nesta água, se a parcela de rejeito não corresponder a parcela maior do volume total de água de make-up esta opção geralmente é aplicável.
Evaporação térmica controlada através de secadores	Apesar do intenso uso de energia, a evaporação térmica pode ser a única opção disponível em muitas áreas.

QUADRO 18 - OPÇÕES DE DISPOSIÇÃO DO REJEITO GERADO POR SISTEMAS DE OR.
FONTE: ADAPTADO DE METCALF & EDDY (2007) E KUCERA (2010).

Em visita a um Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos, o qual possui sistema de tratamento por MBR seguido de osmose reversa outra sugestão de tratamento do rejeito foi apresentada: o tratamento por processo oxidativo avançado pelo processo fênton.

Os processos oxidativos avançados consistem em oxidar os constituintes orgânicos complexos, de difícil biodegradabilidade, presentes na água, transformando-os em moléculas mais simples (METCALF & EDDY, 2003).

Os processos oxidativos avançados são baseados na formação do radical livre hidroxil (•OH), altamente reativo, com potencial de oxirredução maior que do ozônio, os quais reagem com a maioria dos compostos poluentes. O peróxido de hidrogênio é utilizado para geração de radicais hidroxil (•OH); entretanto há a necessidade da adição de ativadores tais como sais de ferro, ozônio e/ou radiações ultravioleta. Quando a oxidação se da de maneira completa, produz CO_2 e H_2O como produtos finais e, quando feita de maneira parcial, geralmente ocorre um aumento da biodegradabilidade dos poluentes. O processo Fênton é dado pela combinação do oxidante peróxido de hidrogênio com o íons férricos (GOMES, 2009).

Uma vez que o rejeito da OR apresentava valores de condutividade e DQO elevados, na faixa de 25000 – 35.000 mg/L e 4.000 – 5.000 respectivamente, sua disposição no aterro ou seu retorno direto para o início do sistema de tratamento de efluentes era inviável. Portanto, conforme Marcelo Toste, este descarte era submetido ao processo fênton através da adição do oxidante peróxido de hidrogênio e de cloreto férrico. Juntamente ao tratamento eram adicionados ácido clorídrico para regulagem de pH e cal para orientar no processo de coagulação. O lodo gerado era desidratado através do processo de centrífuga. Já o sobrenadante, após adição de pequena quantidade de anti-espuma e de metabisulfito, para seqüestro do excesso de peróxido de hidrogênio, retornava ao tanque de aeração através de bicos aspersores, uma vez que agora era composto por partículas mais simples, biologicamente degradáveis. A adição do anti-espumante tem a finalidade de ajudar no controle da formação de espumas no interior do tanque devido a ação microbiológica.

Porém esta técnica deve ser avaliada com relação a sua eficiência, uma vez que a quantidade de peróxido de hidrogênio necessária para oxidação da matéria pode inviabilizá-la economicamente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os efluentes utilizados como materiais bem como o método aplicado para alcance dos objetivos específicos da pesquisa.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Estação de Tratamento de Efluentes

Este estudo foi desenvolvido em um Centro de Tratamento e Disposição de Resíduos Industriais líquidos e sólidos. Na unidade de Curitiba os efluentes líquidos são enviados para a estação de tratamento de efluentes enquanto que os resíduos sólidos são dispostos em aterros ou co-processados.

Quando enviados para o aterro, os resíduos sólidos são dispostos em dois aterros distintos sendo estes:

a) Aterro K1: específico para os resíduos industriais classificados como classe I, ou seja, para os resíduos considerados perigosos e que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podendo, portanto, ser nocivo a saúde humana.
b) Aterro K2: específico para os resíduos industriais classificados como classe II, compreendendo os resíduos não perigosos, inertes ou não inertes.

A decomposição dos resíduos sólidos dispostos nestes aterros gera um chorume de alta carga orgânica e de grande variabilidade em sua composição química, o qual compreende na maior fração do resíduo líquido enviado ao sistema de tratamento de efluentes.

A outra fração de resíduos líquidos provém de diversas empresas as quais não possuem tratamento de efluentes próprios ou que possuem efluentes de difícil tratabilidade, geralmente com altos valores de carga orgânica não biodegradável.

Tanto os efluentes líquidos de empresas externas, quanto os gerados internamente tais como esgoto sanitário e o percolado dos aterros industriais são enviados para a Estação de Tratamento de Efluentes a qual é dividida duas partes: (1) tratamento físico químico do efluente industrial proveniente de empresas externas, laboratórios internos, lavagem de caminhões e os percolados gerados nos aterros em que os resíduos sólidos são dispostos; (2) tratamento biológico do efluente tratado fisico quimicamente misturado ao esgoto sanitário. Este último é composto pelas contribuições internas do refeitório (somente lavagem de louça, uma vez que a refeição é terceirizada), vestiários e sanitários e por efluente de mesma característica enviado por indústrias externas. As características de cada uma das etapas é apresentada a seguir e podem ser visualizada no fluxograma geral da planta presente no Anexo B:

a) Tratamento Físico-Químico composto por:

– Tanque de Equalização TE-100 A o qual tem a finalidade de homogeneizar os seguintes efluentes:

- Efluentes industrial de empresas externa
- Laboratórios
- Lavagem de caminhões
- Percolado do Aterro K1 após tratamento físico químico
- Percolado do aterro K2

– Tanque de Equalização TE-200 A/B o qual tem a finalidade de homogeneizar os seguintes efluentes:

- Percolado do Aterro K1
- Alguns clientes.

– Tanques de Tratamento Físico Químico TQ-100 A/B

– Tanque de Efluente Tratado Físico Quimicamente TE-400

– Decantador de Lodo Físico-Químico, DC-200

– Tanque de Lodo, TL-100

– Filtro Prensa para desaguamento de Lodo Físico Químico

Segundo o responsável pela planta, o tratamento físico químico tem a capacidade de 40 m³ é feito por batelada. Sua finalidade é a redução da DQO e da alta toxicidade, principalmente conferida ao chorume gerado do aterro industrial K1. No tratamento físico-químico são adicionadas 50,00 kg de carvão ativado, sulfato de alumínio ferroso e polímero aniônico. Geralmente são realizadas três bateladas por dia, porém esta quantidade pode variar.

a) Tratamento Biológico composto por:

– Tanque de Armazenamento do Efluente Biológico, TE-300 o qual tem a finalidade de receber, armazenar e consequente homogeneizar os seguintes efluentes:

- Efluente sanitário encaminhados por empresas externas
- Efluente sanitário gerado internamente

– Tanque de equalização do efluente biológico, TE-500 o qual tem a finalidade de homogeneizar os seguintes efluentes

- Efluentes sanitários homogeneizado proveniente do TE-300
- Efluente tratado físico quimicamente proveniente do TE-400
- Tanque de aeração, TA-100

– Decantador secundário, DC-300
– Adensador de lodo, AD-800
– Leito de Secagem
– Tanque de armazenamento de efluente tratado

O tratamento biológico é contínuo, por lodos ativados, com capacidade de 6,0 m³/h. Sua finalidade é a remoção da matéria orgânica biodegradável do efluente. Após o tratamento o efluente final é armazenado em um tanque de 20.000L e posteriormente é destinado ao corpo receptor.

Anteriormente ao envio dos diversos efluentes para estação de tratamento os mesmos são avaliados em laboratório interno pela pessoa responsável pelo tratamento. O recebimento de resíduos líquidos de empresas externas só é autorizado mediante estudo de tratabilidade. Quando aceitos os diferentes resíduos são armazenados e homogeneizados no tanque de equalização TE-100 A.

Ainda segundo o responsável pela ETE, os chorumes gerados são analisados mensalmente. Como o controle dos resíduos líquidos de empresas externas é rígido a maior contribuição para os altos valores de DQO provém dos percolados gerados pelos aterros K1 e K2. Além disso, o chorume gerado pelo K2 apresenta uma alta toxicidade.

Quando é detectada uma grande quantidade de SS no efluente final este é submetido a um retratamento físico-químico que consiste nos processos de adsorção química por carvão ativado, coagulação, floculação e decantação em que são adicionados os produtos químicos sulfato de alumínio ferroso, cal e polímero. O sobrenadante é então encaminhando para o rio. Este tratamento de polimento remove cerca de 85% a 95% dos SS remanescentes, porém não consiste em uma prática usual da empresa.

Vale ressaltar que a empresa recebe diariamente toneladas de resíduos sólidos de diversos tipos e dos mais variados setores, sendo estes dispostos devidamente no aterro de sua categoria. Uma vez que o chorume corresponde ao líquido gerado pela decomposição destes resíduos, a variabilidade de sua composição química e carga orgânica é muito elevada.

Desta forma os valores de DQO do chorume do mesmo aterro diferem um do outro todos os dias, dificultando o controle do sistema de tratamento. Esta dificuldade é agravada ainda devido ao fato da unidade não possuir um tanque de equalização adequado anterior ao sistema de tratamento biológico.

4.1.2 Água residuária

Foram utilizados como objeto deste estudo os seguintes efluentes descritos abaixo:

a) Efluente Tratado por processo de MBR com membranas de UF;
b) Efluente Tratado por processo de lodos ativados;
c) Efluente Retratado por processo físico-químico.

Algumas análises tais como pH, turbidez, cor, cloro residual, DQO, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD), dureza e cloretos foram realizadas no próprio laboratório da estação de tratamento de efluentes da unidade.

As análises de DBO_5, carbono orgânico total (COT), fosfato, nitrato, alcalinidade, amônia, coliformes totais, coliformes fecais, ferro e manganês foram realizadas no Laboratório Prof. Francisco Borsari Netto – LABEAM, do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Bloco V, da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Ainda neste mesmo laboratório foram preparadas as análises de metais. Posteriormente estas foram analisadas no Laboratório da Universidade Técnológica do Paraná – UTFPR, o qual possui o Espectrômetro de adsorção atômica de chama, para a leitura de seus valores. Por último as análises de sílica, alumínio, bário e sódio foram realizadas pelo Laboratório Bioagri Ambiental.

4.1.3 Reator Biológico de Membrana

Foi instalado, posterior ao sistema de tratamento físico químico um reator biológico de membrana em escala piloto, da marca Ecologix. O reator é composto por oito módulos de membranas de UF, conforme ilustrado nas Figuras 16 (a); (b); (c) e (d), e possui as seguintes características:

a) Modelo: EcoMen-10
b) Capacidade: 5m³/d - 10m³/d, sendo estes valores respectivamente para efluente e água limpa nas condições de 0,6 bar e 25℃
c) Membranas: Ultrafiltração
d) Número de módulos de membrana: 8
e) Material das membranas: Polipropileno
f) Modelo: Fibra oca
g) Diâmetro interno: 0,225mm
h) Diâmetro externo: 0,275 mm
i) Pressão interna: 2,5 MPa
j) Pressão externa: 6,0 MPa
k) Porosidade: 35 – 52%

l) Dimensão das partículas removidas: 0,03 – 0,4 µm
m) Temperatura máxima da água de alimentação : 70 °C
n) Limite de pH da água de alimentação: 1 – 14
o) Tipo de filtração: "*cross-flow*" - filtração tangencial

A unidade possui em seu interior dois difusores do tipo tubo de bolha fina e um difusor também do tipo tubo, porém de bolha grossa. Fazem parte ainda de seu sistema bombas de sucção e retrolavagem, soprador de ar e bomba de descarte de lodo. O efluente tratado é armazenado em tanque de água limpa anexo ao reator.

Segundo o fabricante, a água de alimentação deve primeiramente passar por uma peneira de abertura de 0,5 mm, para posteriormente alimentar o reator. As características desta água são:

a) Óleos Vegetais/Animais: < 50 mg/L
b) Óleos Minerais: < 3,0 mg/L
c) Sólidos Suspensos: < 200 mg/L
d) Turbidez: < 500 NTU

Inicialmente foram feitos os testes com o efluente após o tratamento por MBR através de membranas de ultrafiltração.

Diante destas informações foi definido como material de estudo para tratamento pelo MBR a linha do efluente após o tratamento físico-químico. Isto se deve ao fato de que o efluente que alimenta o tratamento biológico é composto pelos efluentes tratado físico-quimicamente e o efluente sanitário; que por sua vez inclui as contribuições de refeitório, sendo o valor de óleos e graxas superior ao estabelecido como padrão de entrada.

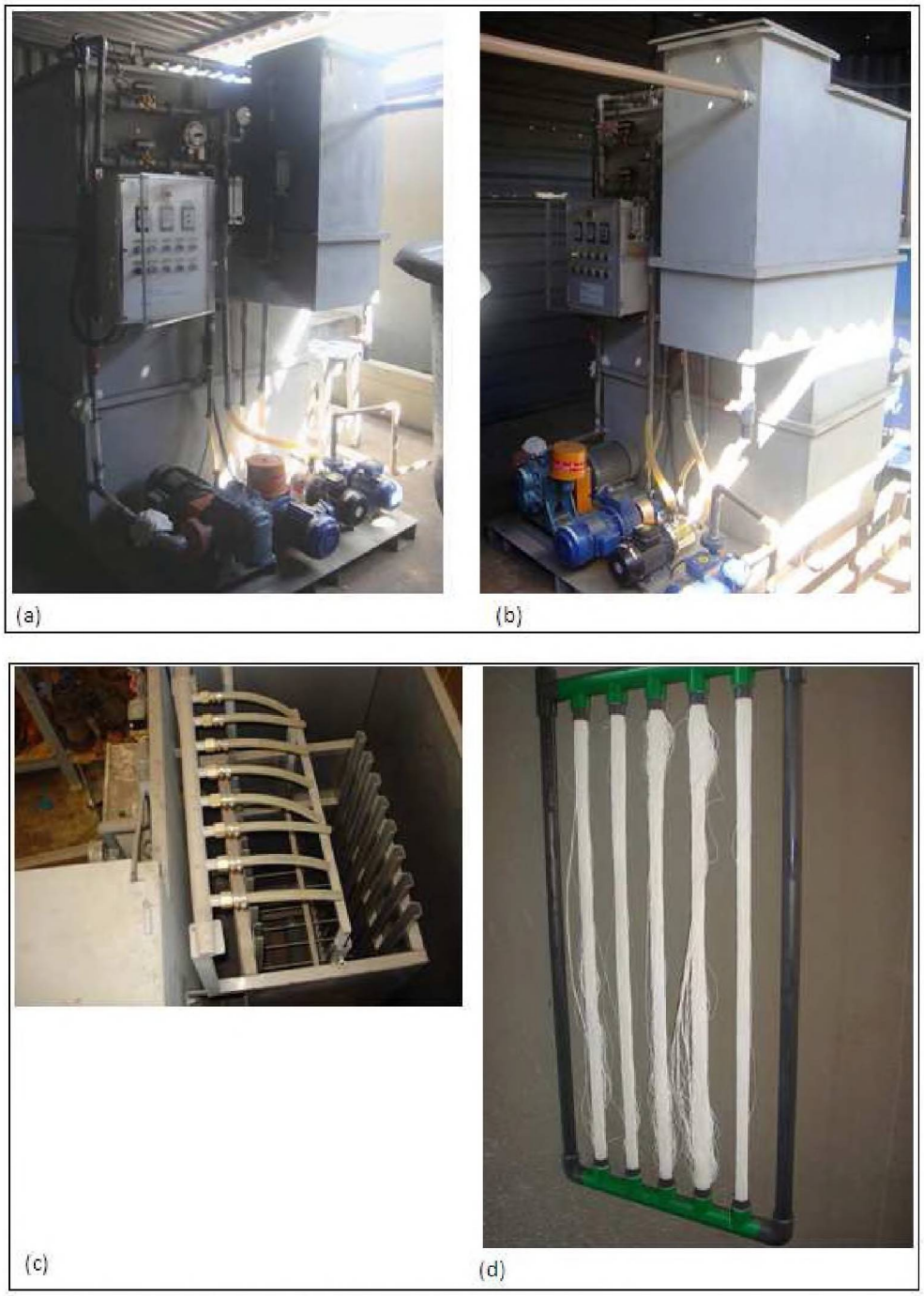


FIGURA 16 - REATOR BIOLÓGICO DE MEMBRANAS.

LEGENDA: (a) Unidade piloto com seu quadro de comando elétrico e bombas de sucção, retrolavagem, descarte de lodo e soprador que fornece ar para os difusores de membrana; (b) unidade piloto e seu tanque de água tratada; (c) interior do reator onde as membranas são alocadas; (d) módulo de membrana de ultrafiltração.

4.1.4 Osmose Reversa

Foi utilizada uma unidade piloto de Osmose Reversa da marca AcquaMundi, modelo AM 4040ds-2 com capacidade de remoção de 95 a 98% de compostos inorgânicos tais como sais e 100% de contaminantes orgânicos tais como bactérias, vírus e pirogênios.

A unidade piloto é do tipo 1:1, sendo formada, portanto, por dois estágios compostos por um vaso de pressão ou um conjunto de membrana cada, conforme a Figura 17.

FIGURA 17 - UNIDADE PILOTO DE OSMOSE REVERSA DE 2 ESTÁGIOS.

O efluente é enviado para a membrana que compõe o primeiro estágio gerando duas correntes: a de produto e a de rejeito. Subsequentemente o rejeito alimenta o segundo estágio e as mesmas correntes são geradas. O produto de ambos os vasos de pressão corresponde ao permeado gerado pelo sistema enquanto que o descarte do segundo estágio, o qual apresenta-se em maior concentração que o primeiro, consiste no rejeito de todo o sistema. Os canais de rejeito e permeado podem ser visualizados na Figura 18 (a) e (b).

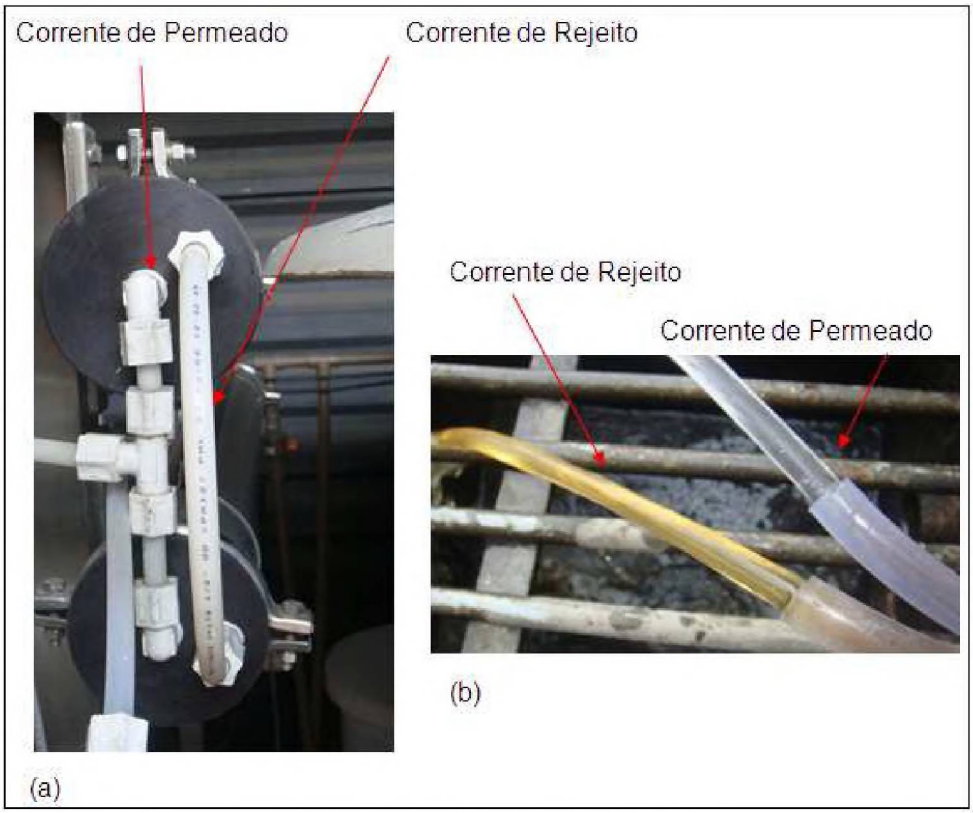


FIGURA 18 – CANAIS DE REJEITO E PERMEADO.

A unidade piloto é composta pelos seguintes equipamentos e instrumentos: (1) tanque de armazenamento; (2) bomba de alimentação; (3) filtro de cartucho; (4) bomba dosadora de produto anti-incrustante; (5) bomba de pressurização; (6) membranas de osmose reversa; (7) instrumentação. A Figura 19 ilustra a disposição de todos estes equipamentos bem como o processo operacional.

No Anexo C é apresentado um fluxograma completo das unidades instaladas.

4.1.4.1 Tanque de Armazenamento

Entre as unidades piloto de MBR e OR foi instalado um tanque, ilustrado na Figura 19 como TQ-301, com a finalidade de armazenar os diversos efluentes a serem tratados pela OR.

Este tanque de armazenamento é do tipo Caixa d'água, da marca FORTLEV e possui as seguintes características:

a) Material: Fibra de Vidro;

b) Tipo: Cilíndrico vertical, fechado com tampa;

c) Volume: 3000 L;

d) Dimensões:

- Diâmetro Inferior: 1.460 mm;
- Diâmetro Superior: 1.850 mm;
- Altura útil: 1.560 mm;
- Altura com tampa: 1.700 mm.

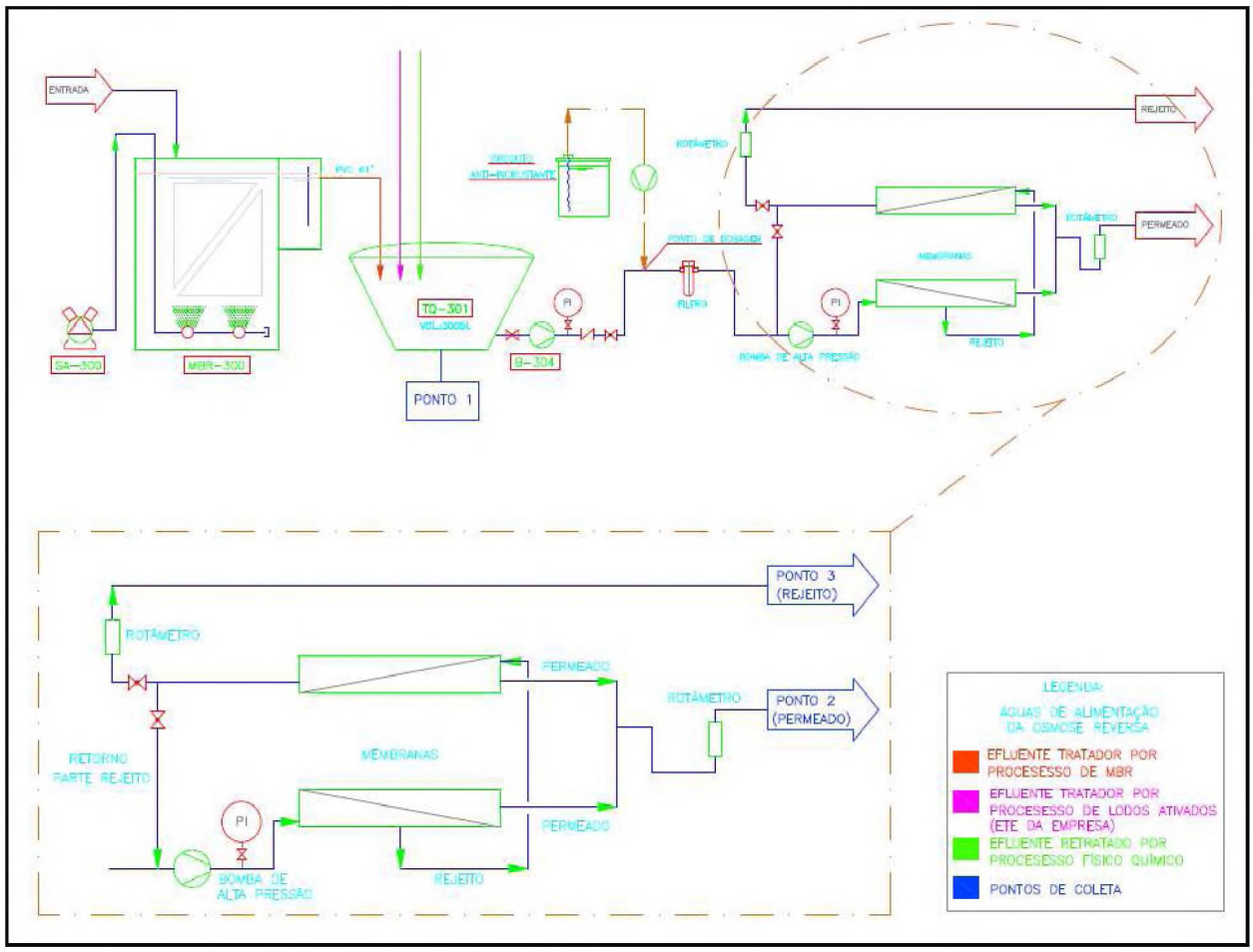


FIGURA 19 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO PELA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA.

4.1.4.2 Bomba de alimentação

A bomba de alimentação, conforme ilustrado na Figura 20, succiona o efluente armazenado no tanque TQ-301 e bombeia para a entrada do sistema. A bomba utilizada é do tipo centrífuga, da marca Scheneider, modelo BC-98, de ferro fundido, com rotor em alumínio, de potência igual a ¼ CV. Sua capacidade varia entre 0,4 – 4 m³/h e sua pressão máxima e mínima são 2,0 mca e 14 mca respectivamente..

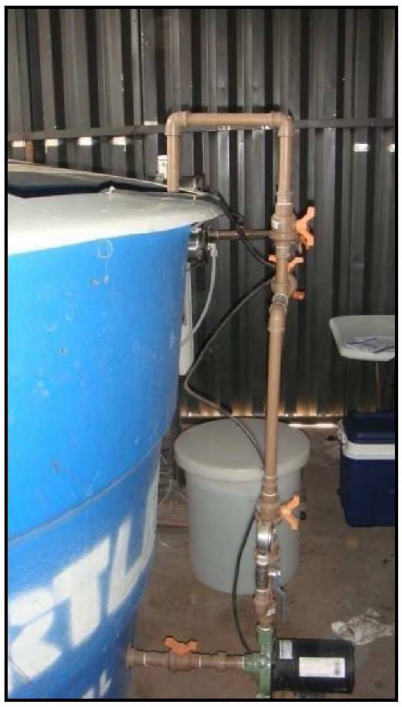


FIGURA 20 - TANQUE DE ARMAZENAMENTO E BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA UNIDADE PILOTO DE OSMOSE REVERSA.

4.1.4.3 Bomba dosadora de anti-incrustante

A bomba dosadora de produto anti-incrustante utilizada é da marca SILTEC, do tipo eletrônica, de ¼ CV de potência, modelo BDE-12, de capacidade de dosagem na faixa de 1,44 – 12,0 L/h, conforme Figura 21.

O produto anti-incrustante utilizado é o Hypersperce* MDC 150,da marca General Electric Company (GE), o qual foi desenvolvido para controlar as incrustações, principalmente por carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, sulfato de bário e sulfato de estrôncio. Para sua melhor eficiência este produto é adicionado anteriormente ao filtro de cartucho. Este produto esta disponível em bombonas plásticas de 20, 50 e 100 kg. Sua faixa típica de dosagem é de 3 a 10 ppm. A super dosagem e a dosagem insuficiente podem causar contaminação da membrana.

O controle de carbonato de cálcio por Hypersperce é efetivo para uma concentração máxima de Índice de Saturação de Langelier de + 2,5.

FIGURA 21 - BOMBA DOSADORA E SEU REPECTIVO PONTO DE DOSAGEM DE PRODUTO ANTI-INCRUSTANTE.

4.1.4.4 Filtro de cartucho

Consiste em um filtro de cartucho descartável de polipropileno, conforme Figura 22, da marca LIQUATEC, com porosidade de 1 µm, instalado anteriormente

as membranas de OR para remoção de sólidos suspensos residuais do pré-tratamento.

FIGURA 22 - FILTRO DE CARTUCHO DE POLIPROPILENO.

4.1.4.5 Bomba de Pressurização

Consiste em uma bomba de alta pressão da marca DANCOR, com motor de indução trifásico de alto rendimento, conforme Figura 23, a qual foi dimensionada pelo fabricante para operar a uma pressão em torno de 20 kgf/cm², com as seguintes características:

a) Modelo: 3.2-BHD 25 ;
b) Tipo: Centrífuga de Multi-Estágios;
c) Capacidade: 1,0 – 5,1 m³/h;
d) Material: Ferro fundido, com rotor em alumínio;
e) Eixo : Em aço inox;
f) Motor: Voges, de alto rendimento;

g) Potência: 4,0 cv;

FIGURA 23 - BOMBA DO TIPO BOOSTER, DE ALTA PRESSÃO.

4.1.4.6 Membranas

O sistema é formado por dois elementos de membranas de *Thin-film Composite* (TFC) da empresa General Electric Company (GE), de alta rejeição que opera com fluxo tangencial, com as seguintes especificações:

a) Marca: Osmonics;
b) Modelo: AG 4040FF;
c) Material: Poliamida
d) Capacidade: 400 L/h;
e) Capacidade de rejeição: 99,5% - 99,0%;
f) Área superficial: 7,9 m²;
g) Dimensões:
– Comprimento: 1.016 mm;
– Diâmetro interno/canal de permeado: 19 mm;
– Diâmetro externo: 99 mm;
h) Peso: 5,5 Kg.

Estas especificações técnicas são baseadas, segundo o fabricante, em uma solução de 2.000 mg/L NaCl a uma pressão de operação de 11,25 kgf/cm²,

temperatura de 25ºC, pH de 7,5 e um percentual de recuperação de 15% após 24 horas de operação. O fluxo individual de cada membrana pode variar +25%/-15%.

Os parâmetros operacionais e de projeto destes elementos de membrana são:

a) Pressão de operação típica: 10 kgf/cm²;
b) Pressão máxima: 30 kgf/cm² ;
c) Temperatura máxima: 50ºC
d) Faixa de pH recomendada:
– Rejeito: pH entre 7,0 – 7,5;
– Água de alimentação: pH entre 4,0 – 11,0;
– Limpeza Química: pH entre 2,0 – 11,5;
e) Tolerância ao cloro: 1,0 ppm / hora sendo recomendado a decloração da água de alimentação.

As membranas estão alocadas em dois vasos de pressão de Aço Inox.

4.1.4.7 Instrumentação

A unidade piloto é composta pelos seguintes instrumentos, ilustrados na Figura 24 (a), (b) e (c):

a) Rotâmetro da marca KING, com escala de medição de 1–10 GPM (227,4 – 2.274 L/h) para medição da vazão de permeado e rejeito.
b) Manômetro de baixa pressão da marca AquaMundi, com escala de medição de 0– 40 mca, para medição da pressão após filtro de cartucho;
c) Manômetros de alta pressão da marca WIKA, com escala de medição de 0–21 kgf/cm², o qual mede as pressões de entrada e saída da membrana;
d) Regulador de nível do tipo bóia, ¾ CV, 125 V, da marca MG, de desligamento automático para proteção do sistema contra falta de água.

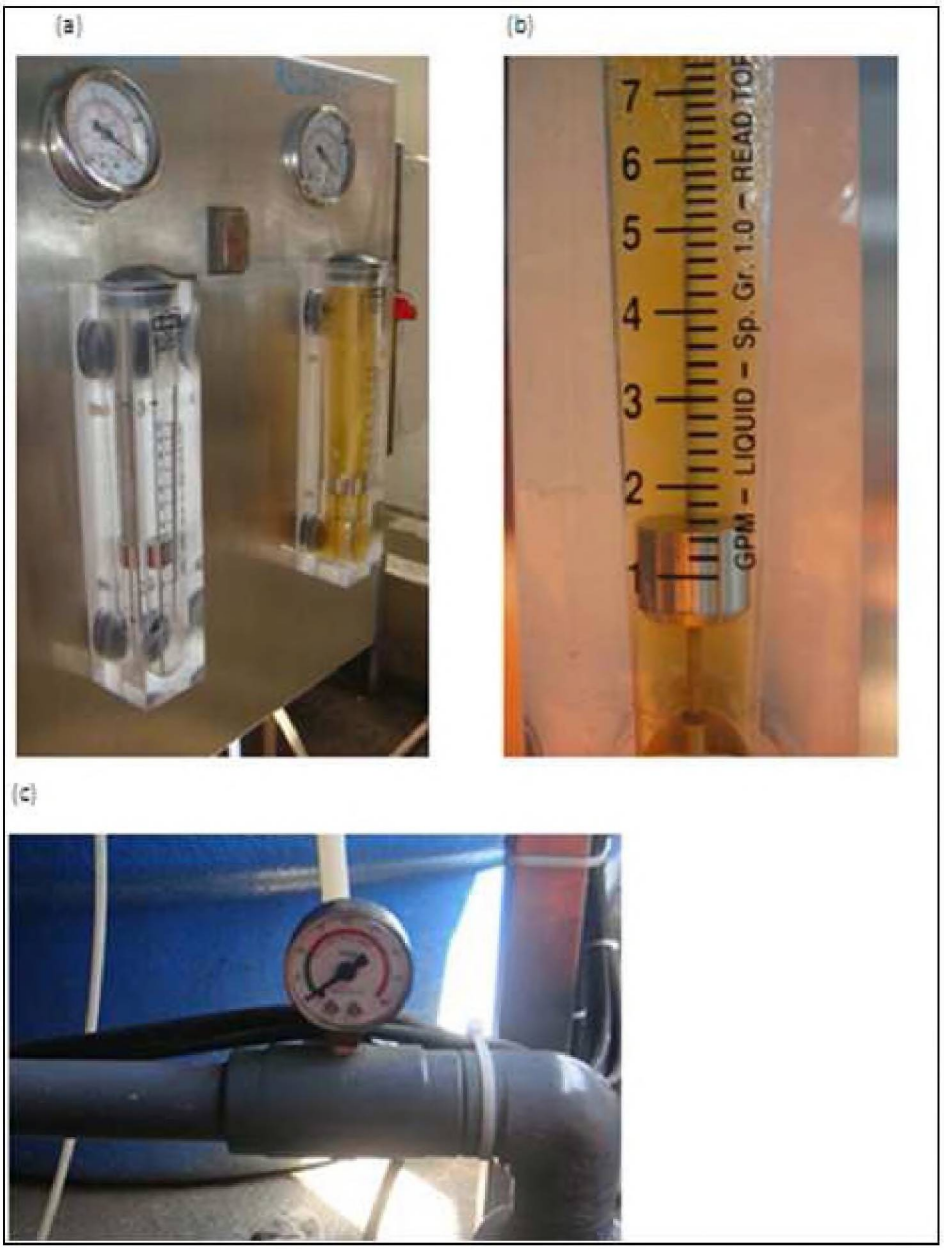


FIGURA 24 INSTRUMENTOS QUE COMPÕEM A UNIDADE PILOTO.

LEGENDA: (a) Manômetros de Alta pressão que medem a pressão de entrada e saída da membranas; (b) Rotâmetro e sua escala de medição; (c) Manômetro de baixa pressão que indica o momento em que o filtro cartucho deve ser trocado.

4.1.5 Sistema de Lavagem Química

O sistema de lavagem química ou sistema *CIP* (*Cleaning in Place*) é composto por dois tanques de produtos químicos e uma bomba centrífuga, conforme

ilustrado na Figura 25. Os tanques de produto químico são fabricados em polietileno e possuem volume de 50 L cada. Um dos tanques é utilizado para preparação das soluções ácida e alcalina, enquanto o outro para efetuar o enxágüe das membranas com água permeada. A bomba utilizada, por sua vez, é da marca DANCOR com as seguintes características:

a) Modelo: CHS-17 – 1½;
b) Tipo: Centrífuga;
c) Capacidade: 26,6 – 7,0 m^3/h;
d) Pressão de operação: 0,2 – 1,8 kgf/cm^2;
e) Material: em ABS reforçado com fibra de vidro;
f) Rotor: tipo fechado, injetado em Noryl® reforçado com fibra de vidro;
g) Eixo : Em aço inox;
h) Motor: WEG, de alto rendimento;
i) Potência: 1,2 CV;
j) Tensão: trifásica, 220/380 V;
k) Grau de Proteção: IP 21.

Durante a limpeza química as soluções deverão recircular durante um período pelo sistema. Portanto, antes de iniciar o processo as mangueiras por onde saem as correntes de rejeito e permeado são colocadas dentro do tanque de preparo da solução. Em seguida, através de manobras de válvulas, parte da vazão que será bombeada é encaminhada para sistema e outra parte retorna diretamente para o tanque. A parcela que é enviada para o sistema e passa pelas membranas, por sua vez, retorna ao tanque *CIP* pelas mangueiras de rejeito e permeado garantindo que o tanque esteja sempre cheio e promovendo assim, a recirculação das soluções utilizadas no processo durante um período. As soluções ácidas e alcalinas foram preparadas respectivamente com os produtos ácido fosfórico e soda cáustica em escamas.

FIGURA 25 - TANQUES DE LAVAGEM QUÍMICA

4.1.6 Ensaio Físico-Químico

Como uma alternativa para o tratamento do rejeito gerado pelo processo de OR foram realizados alguns testes de coagulação/floculação/decantação com o intuito de analisar o potencial de tratamento deste descarte por este processo.

Para realização destes ensaios foi utilizada a unidade experimental tipo *Jar Test*, marca MILAN, conforme Figura 26, o qual apresenta as seguintes características:

a) Ajuste de velocidade podendo variar de 0 a 300 rpm;
b) Rotor de agitação em aço inox com diâmetro de 5,8 cm e área de 14,5 cm²;
c) Três recipientes de acrílico com capacidade para um litro cada;
d) Sistema de agitação por tração mecânica

FIGURA 26 - EQUIPAMENTO DE *JAR TEST* PARA TESTE DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO.

Como produto corretor de pH, coagulante e floculante foram utilizados respectivamente hidróxido de sódio, sulfato de alumínio ferroso e polieletrólito aniônico de alta massa molecular.

4.1.7 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para medição dos parâmetros monitorados durante os testes foram:

a) pHmetro tipo caneta, da Família Waterproof, da marca Hanna, modelo M-32776, com as função de medição de pH, STD e condutividade;
b) Turbidímetro portátil, marca HACK, modelo 2100P, com faixa de leitura de 0 – 1000 NTU;
c) Medidor/comparador colorimétrico, marca Policontrol, modelo Nessler Quanti 200;
d) Kit para teste de cloro (Cl_2) da marca MERCK, modelo microquantico, com leitura na faixa de 0,1 – 2,0 mg/L de Cl_2. Este kit permite a medição dos cloros livre, total e residual;

e) Bloco digestor de DQO, marca Policontrol, com temperatura máxima de 150 °C;
f) Espectofotomêtro para leitura de DQO, marca Policontrol, modelo Aqua-Color;
g) Analisador de carbono orgânico (*TOTAL ORGANIC MATTER*) marca Shimadzu, modelo TOC-V CPH;
h) Balança analítica digital marca SARTORIUS, modelo BL210S;
i) Estufa marca ODONTOBRÁS, modelo 1.1;
j) Espectofotômetro marca Shimadzu, modelo UV-160 1 PC.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Determinação do tempo de operação

O tempo de operação da OR para realização dos testes foi determinado a partir da vazão de operação do sistema e do volume de água bruta disponível para sua alimentação.

Para determinação da vazão foi realizado teste com água limpa de modo a quantificar a sua capacidade máxima de operação. Durante o teste a vazão de rejeito foi regulada de modo a se igualar com a vazão de permeado, através da visualização destes valores em seus respectivos rotâmetros. A partir do momento que estas vazões foram reguladas o sistema operou por aproximadamente 1 hora. O valor obtido na escala de cada um dos rotâmetros foi em torno de 2,8 GPM, o que corresponde a 635,0 L/h. Uma vez que a vazão total de alimentação foi dividida igualitariamente entre as correntes de permeado e de rejeito, o que corresponde a uma operação com taxa de recuperação de 50%, conclui-se que a vazão máxima de operação é de 1.270 L/h. Este valor foi então adotado como sendo a condição operacional inicial, sendo utilizada assim, para determinação do tempo de operação do sistema adotado para realização dos testes.

O volume de água disponível foi definido, também, de acordo com as vazões das três diferentes águas de alimentação e do princípio de que as condições operacionais sejam as mesmas para todos os testes que serão realizados, de modo a permitir uma comparação posterior dos resultados obtidos. Uma vez que duas das águas de alimentação são provenientes da ETE existente na unidade e, portanto, não apresentam restrições quanto a disponibilidade destes efluentes, utilizou-se a vazão de água proveniente da unidade piloto de MBR instalada anteriormente ao sistema para determinação do volume disponível para tratamento e do tempo de operação da OR, uma vez que este é de apenas 200 L/h.

O tanque de armazenamento que recebe esta água e bombeia para a OR tem um volume de 3000 L, sendo necessárias quinze horas de operação contínua do MBR para seu total preenchimento.

Portanto a partir dos dados de 1.270 L/h de vazão de alimentação e 3000 L de água disponível por dia foi programada a execução de cada teste durante um período de operação da OR de aproximadamente duas horas.

4.2.2 Operação da Osmose Reversa

Para operação da OR foi seguido o seguinte roteiro:

a) Verificação de todas as válvulas, sendo que para partida do sistema as válvulas de entrada e do rejeito devem estar abertas e a válvula do processo de lavagem química deve estar fechada;
b) Verificação do volume de produto anti-incrstante que há no tanque de produto químico. Sua dosagem é de 5 ppm, conforme recomendado pelo fabricante da unidade piloto;
c) Verificação da regulagem da bomba dosadora de anti-incrustante a qual opera a uma vazão de 2L/h;
d) Liga-se o equipamento de Osmose Reversa;
e) Regulagem da vazão de permeado e rejeito através do fechamento válvula de rejeito;

f) Verificação da vazão de permeado e rejeito e da pressão de entrada e saída do processo ao longo das duas horas de operação;
g) Realização de coletas de amostras de permeado e rejeito nos períodos de 15, 30, 60, 90 e 120 min para verificação do pH, da temperatura, da turbidez, da condutividade e dos STD;
h) Realização da coleta de 5L de amostra de permeado no tempo de 90 min para o restante das análises. Neste período também é feita a coleta de uma amostra de rejeito para análise de DQO de ambas as correntes;
i) Após 120 min de operação o sistema é desligado;
j) Lavagem química das membranas.

Todas as vezes que a OR foi operada a água permeada obtida foi estocada para ser utilizada posteriormente no preparo dos produtos químicos aplicados durante a lavagem química e no enxágüe do sistema.

Além disso, segundo o fabricante, como as membranas são constituídas de polímeros recomenda-se que, uma vez que não estejam operando, sejam mantidas em contato com um meio líquido conservando assim as suas propriedades. Portanto terminado o procedimento completo de lavagem após cada teste enchia-se os vasos de pressão também com água permeada de modo a garantir que as membranas estivessem sempre imersas em água pura, praticamente isenta de sais ou outras partículas (CÍCERO FRANCO, contato pessoal, 2010).

4.2.3 Lavagem Química

Foram realizadas respectivamente lavagem ácida e lavagem alcalina, conforme recomendação do fabricante. Sua operação foi realizada conforme o seguinte roteiro:

a) Verificação de válvulas, sendo que as válvulas da entrada do sistema e do processo de lavagem química devem estar abertas;

b) Abertura por completo a válvula de rejeito;
c) Desligamento da bomba dosadora de produto anti-incrustante;
d) Lavagem Ácida

– Preparação da solução ácida com água permeada adicionando-se ácido fosfórico ao tanque de preparo de produto químico de 50 L até que o pH da solução esteja entre 2-3. Este pH foi medido através de pHmetro tipo caneta, da marca Hanna Instruments.
– Colocação de ambas as mangueiras, de permeado e rejeito, no interior do tanque que contém a solução ácida;
– Acionamento da bomba de lavagem;
– Acionamento da bomba de alta pressão;
– Verificação do pH da solução após alguns instantes do início da lavagem;
– Caso o valor de pH tenha aumentado, adicionar mais ácido até que este mantenha-se próximo de 2-3;
– Caso a água de recirculação esteja muito suja, descartá-la e preparar uma nova solução;
– Após estabilização do pH, início da recirculação, com duração de 15 a 20 min;
– Enxague das membranas com água permeada durante um período de 5 min.

e) Lavagem Alcalina

– Preparação da solução alcalina com água permeada adicionando-se soda cáustica ao tanque de preparo de produto químico de 50 L até que o pH da solução esteja entre 12-13. Este pH foi igualmente medido através de pHmetro tipo caneta, da marca Hanna Instruments.
– Colocação apenas da mangueira de permeado no interior do tanque que contém a solução alcalina;
– Acionamento da bomba de lavagem;
– Acionamento da bomba de alta pressão;
– Verificação no rotâmetros da coloração da água que esta passando pelo canal de rejeito;

- Caso esta água apresente colocação escura devido ao desprendimento da matéria orgânica e do *fouling* causado por microorganismos, descartá-la e preparar mais solução;
- A partir do momento que a água no rotâmetro se torne limpa, colocar as mangueira de rejeito no interior do tanque de solução alcalina;
- Início da recirculação, com duração de 15 a 20 min;
- Enxague das membranas com água permeada durante um período de 5 min.

a) Reinício da operação de filtração.

Nos sistema de OR a lavagem química é realizada no mesmo sentido da filtração, com o auxílio da bomba de alta pressão. As soluções passam pelo filtro de cartucho e seguem, posteriormente, para os elementos de membranas. A válvula de rejeito deverá estar toda aberta com o intuito de que a maior parcela possível da vazão de recirculação passe por este canal e pela superfície externa da membrana onde ocorrem os possíveis acúmulos de partículas e incrustações. A Figura 27 ilustra este processo.

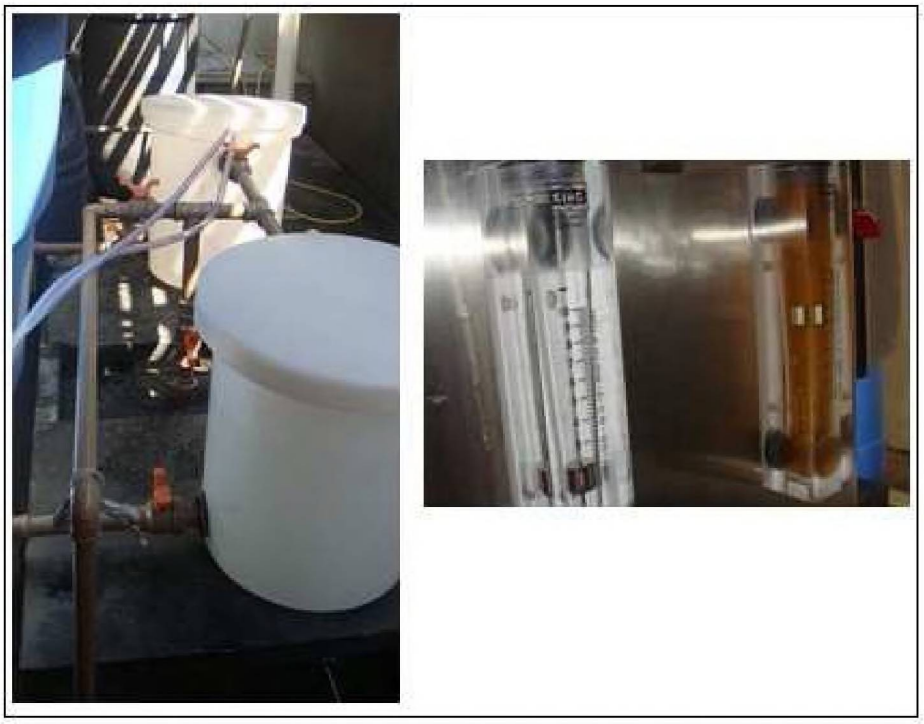


FIGURA 27 - TANQUE COM AS MANGUEIRAS DE RECIRCULAÇÃO E APARÊNCIA DA ÁGUA NO MOMENTO DA LAVAGEM QUÍMICA ALCALINA DEVIDO AO DESPRENDIMENTO DE MATÉRIA ORGÂNIA DA SUPERFÍCIA DA MEBRANA.

4.2.4 Efluente tratado por processo de MBR com membranas de UF

Diferentes operações foram realizados com este tipo de efluente.

Primeiramente foram adotadas três diferentes condições de operação, as quais apresentam diferentes taxas de recuperação de água, com o intuito de comparar a qualidade do permeado e do rejeito obtidos. Estão condições são:

a) Condição 1: R= 50%, ou seja, 50% da vazão total correspondendo ao permeado e 50% ao rejeito;
b) Condição 2: R= 65%, ou seja, 65% da vazão total correspondendo ao permeado e 35% ao rejeito;
c) Condição 3: R= 75%, ou seja, 75% da vazão total correspondendo ao permeado e 25% ao rejeito;

Para cada uma destas condições foram realizados três testes. Cada dia foi realizado um único teste, sendo que ao final de cada um deles sempre foi realizada a lavagem química das membranas, visando a remoção de possíveis compostos que possam ter se acumulado sob a sua superfície ou no interior de seus poros. Com isso tentou-se garantir que a membrana estivesse com as mesmas características ao início de cada teste, proporcionando a mesma condição operacional a todas as situações, reduzindo ao máximo possíveis interferência no rendimento e resultados devido ao *fouling* ou *scaling,* ocasionado em uma operação anterior.

A ordem dos testes foi alternada, ou seja, primeiro foi realizado o teste com a condição de 50% de taxa de recuperação, no dia seguinte o primeiro teste com a condição 2 de 65% e no terceiro dia com a condição 3. Depois seguiu-se a mesma ordem para o segundo teste de cada condição e na sequência foram realizados os terceiros e últimos testes das condições 1, 2 e 3 respectivamente.

Após a operação sob as três condições pré-estabelecidas os resultados foram analisados e foi adotada então a condição intermediária como a mais adequada para os testes subseqüentes com este mesmo efluente.

O teste seguinte foi determinar o tempo total de operação até que as membranas necessitassem realmente ser lavadas quimicamente, uma vez que nas

situações anteriormente testadas o período de operação do sistema foi limitado a duas horas.

Segundo o fabricante do equipamento, quando a diferença entre as pressões das linhas de rejeito e permeado for de aproximadamente 20%, ou a vazão inicial de entrada do sistema decair esta mesma porcentagem, significa que esta no momento de realizar uma lavagem química (CÍCERO FRANCO, contato pessoal, 2010). Uma vez que a soma das vazões do permeado e do rejeito corresponde a vazão de entrada do sistema as mesmas foram monitorados, até que essa queda fosse observada.

Como a produção de efluente de alimentação é um limitante neste estudo, não foi possível a operação contínua do equipamento até que esta diferença fosse observada.

A OR foi operada durante o período que havia efluente disponível no tanque de armazenamento TQ-301. No momento que o tanque atingia seu limite inferior o sistema era então desligado com efluente em seu interior e permanecia assim até ser religado no dia seguinte. Neste processo não foram realizadas lavagens químicas durante os intervalos de operação, com o intuito de manter as membranas com as mesmas características de quando o sistema foi desligado, ou seja, com a mesma quantidade de partículas precipitadas ou de *fouling* oriundos das horas anteriores de operação, tentando assim simular uma operação contínua.

Sendo o MBR um processo biológico agregado a tecnologia por membranas, diferentes condições foram impostas durante a sua operação, através da variação da relação A/M no interior do reator (razão alimento/microorganismo). Esta variação foi realizada através do controle de descarte de lodo no interior do reator, uma vez que a vazão de entrada não era possível de ser alterada devido a automação do equipamento.

Sua variação pode influenciar na qualidade do efluente tratado e, consequentemente, nos parâmetros da água de entrada do sistema de OR. Portanto, com o intuito de verificar se estas alterações no sistema biológico impactariam na eficiência de remoção pelo sistema de OR, as águas geradas por três diferentes valores de A/M foram submetidas a filtração pelo unidade piloto.

Estes testes foram realizados da seguinte maneira: quando os valores de A/M desejados eram alcançados no interior de reator de membrana, o efluente tratado

durante esta condição era armazenado no tanque TQ-301 e a OR colocada subsequentemente em operação, conforme a metodologia descrita na seção 4.2.2. Foram feitos dois testes para cada um dos valores de A/M, sendo estes iguais a 0,2; 0,3 e 0,4. A operação com o A/M igual a 0,2 foi efetuada antes dos testes com o efluente tratado e com os A/M iguais a 0,3 e 0,4 após a execução destes.

4.2.5 Efluente Tratado por processo de Lodos Ativados

Esta água consiste no efluente tratado pela ETE da empresa. As mesmas três condições foram adotadas para sua operação, sendo estas:

a) Condição 1: R= 50%, ou seja, 50% da vazão total correspondendo ao permeado e 50% ao rejeito;
b) Condição 2: R= 65%, ou seja, 65% da vazão total correspondendo ao permeado e 35% ao rejeito;
c) Condição 3: R= 75%, ou seja, 75% da vazão total correspondendo ao permeado e 25% ao rejeito;

Porém neste caso a ordem que os testes foram realizados foi diferente, uma vez que o risco a formação de *fouling* e *scaling* era maior quando comparado ao com o efluente tratado pelo MBR. Quanto maior a taxa de recuperação, menor é a produção de rejeito. Portanto mais concentrado este descarte se apresentará aumentando assim a tendência de precipitação e incrustação na superfície da membrana (Kucera, 2010). Sendo assim, a ordem estabelecida foi de realizar primeiramente os três testes da condição 1, na sequência da condição 2 e por último da condição 3.

O efluente tratado pela ETE da unidade é encaminhado para um tanque de 20.000L, onde permanece estocado até ser destinado ao rio. Sendo assim não havia limite de vazão para realização destes testes. Portanto os três testes de uma mesma condição foram executados em um único dia sem alteração de suas características de um teste para o outro.

A metodologia de operação da OR aplicada foi a mesma já descrita na seção 4.2.2. Os testes obedeceram o período de operação de 120 minutos e as membranas foram quimicamente lavadas após o término de cada teste, objetivando, da mesma forma, o retorno as condição iniciais de operação.

4.2.6 Efluente Retratado por processo Físico-Químico

Eventualmente, quando o efluente tratado apresenta valores altos de DQO e SS em sua composição, este é submetido a um retratamento físico químico por coagulação/floculação/decantação. Durante este processo são adicionados sulfato de alumínio ferroso, polímero aniônico e carvão ativado em pó.

Sendo assim, espera-se que a DQO e o SS deste efluente apresentem valores menores que o do efluente final tratado e que, portanto, suas características sejam mais adequadas para o tratamento por OR.

Este teste foi o último e ser realizado e sua operação foi efetuada apenas com uma condição de taxa de recuperação, com o objetivo de comparar os resultados com os obtidos nos testes realizados com o efluente tratado pelo sistema de MBR e com o efluente final tratado, sob a mesma condição de operação a qual este foi executado.

4.2.7 Ensaio de Jar Test

Foi efetuado ensaio de *Jar Test ou* teste de jarro com amostras do rejeito obtido durante o processo de tratamento pela OR com a finalidade de verificar sua tratabilidade pelos processos de coagulação, floculação e decantação.

Primeiramente verificou-se o pH das amostras, os quais foram elevados para valores em torno de 9,0 pela adição de hidróxido de sódio, de modo a atingir o pH

ideal para coagulação pelo sulfato de alumínio ferroso, o qual, segundo Nunes (2004), esta na faixa de 8,5 a 11.

O coagulante foi então adicionado aos frascos. Na sequência as amostras foram agitadas durante 30 segundos em uma rotação de 100 rpm, simulando a mistura rápida, e 10 minutos em rotação de 40 rpm para formação dos coágulos. Após este período, o floculante foi, então, adicionado aos frascos e a rotação reduzida para 20 rpm por um período de 5 minutos. Após este procedimento os floculadores são desligados e as amostras ficam em repouso durante 10 min para que os flocos formados decantem. A água tratada é coletada da superfície dos frascos através de uma pipeta para evitar que flocos sejam sejam carreados junto as amostras.

Foram efetuados testes com 75, 150, 250, 300, 400 ppm de sulfato de alumínio ferroso a concentração de 10% e 2 ppm de polieletrólito aniônico a concentração 0,1%.

4.2.8 Análises Físico-Químicas

Os parâmetros físico-químicos de interesse foram analisados no efluente de entrada e na água permeada resultante do tratamento, de modo a verificar a remoção pelo sistema. Foram realizadas também algumas análises no rejeito gerado pelo sistema, conforme ilustrado no Quadro 19.

Ponto de Coleta	Entrada / Bruto	Permeado	Rejeito
Tempo (min)	**0**	**90**	**90**
Parâmetros	pH	pH	pH
	Temperatura	Temperatura	Temperatura
	Vazão	Vazão	Vazão
	STD	STD	STD
	Condutividade	Condutividade	Condutividade
	Turbidez	Turbidez	Turbidez
	Cor	Cor	Cor
	DQO	DQO	DQO
	Cloro Residual	Cloro Residual	
	Cloreto	Cloreto	
	Dureza	Dureza	
	Nitrato	Nitrato	
	Fosfato	Fosfato	
	Alcalinidade	Alcalinidade	
	COT	COT	
	SST	SST	
	Amônia	Amônia	
	DBO	DBO	
	Coliformes totais	Coliformes totais	
	Coliformes fecais	Coliformes fecais	
	Níquel	Níquel	
	Ferro	Ferro	
	Manganês	Manganês	
	Alumínio	Alumínio	
	Sódio	Sódio	
	Sílica	Sílica	
	Bário	Bário	

QUADRO 19 - PONTOS DE COLETA, PARÂMETROS ANALISADOS E OS RESPECTIVOS LABOORATÓRIOS EM QUE FORAM ANALISADOS.

LEGENDA: (Verde): Laboratório da empresa em que o estudo foi realizado; (Lilás): Laboratório LABEAM da UFPR; (Amarelo) Laboratório da Universidade UTFPR; (Azul) Laboratório Bioagri Ambiental.

As análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998) e as metodologias aplicadas estão resumidas no Quadro 20.

Ensaio	Unidade	Metodologia
pH	-	Método Potenciométrico
Temperatura	℃	Método Termométrico
Condutividade	µS/cm	Método Potenciométrico
Turbidez	NTU	Método Nefelométrico
Cor	Hz	Método Comparativo
Cloro Residual	mg/L	Método Colorimétrico
DQO	mg/L	Método Colorimétrico
DBO	mg/L	Método do Oxitop
Nitrato	mg/L	Método Titulométrico
Fosfato	µg/L	Método Titulométrico
Cloreto	mg/L	Método Titulométrico
Dureza	mg/L	Método Titulométrico
Alcalinidade	mg/L	Método Titulométrico
Carbono Orgânico Total	mg/L	Método de Oxidação por auxílio da Combustão Catalítica
SST	mg/L	Método Gravimétrico
STD	mg/L	Método Potenciométrico
Amônia	mg/L	Método Colorimétrico
Ferro	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica de Chama
Manganês	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica de Chama
Níquel	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica de Chama
Zinco	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica de Chama
Alumínio	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica
Sódio	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica
Sílica	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica
Bário	mg/L	Espectrometria de Absorção Atômica
Coliformes Fecais e Totais	NMP/100ml	Método de tubos múltiplos e substrato Enzimático.

QUADRO 20 - ENSAIOS REALIZADOS E AS RESPECTIVAS METODOLOGIAS APLICADAS.

LEGENDA: (SST) Sólidos Suspensos Totais; (STD) Sólidos Totais Dissolvidos; (Colif. Fecais e Totais) Coliformes Fecais e Totais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EFLUENTE APÓS O TRATAMENTO POR MBR

5.1.1 Caracterização do Efluente

Conforme recomendação do fabricante, antes de iniciar as operações com a OR foi realizada uma coleta do efluente tratado pelo reator de membrana com o intuito de verificar a presença dos principais compostos que poderiam afetar a integridade das membranas. Os valores obtidos são apresentados no Quadro 21.

Parâmetros	Unidade	Efluente Bruto
DQO	mg/L	100 - 600
Condutividade	µS/cm	13070
Cloreto	mg/L	1404
Alcalinidade	mg/L	3776
Alumínio	µg/L	896
Bário	µg/L	< 10
Ferro	µg/L	1420
Manganês	µg/L	209
Dureza	mg/L	81
Sílica	mg/L	6

QUADRO 21 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE APÓS TRATAMENTO POR MBR.

Segundo Ushikoshi *et al.* (2002), a alta salinidade representada pela condutividade já era esperada uma vez que o lixiviado de aterros industriais tem esta característica. A presença de dureza também é esperada para este tipo de efluente, indicando, principalmente, a presença de cálcio em sua composição.

Ambos os compostos não são removidos pelas membranas de UF presentes no sistema de MBR e uma vez presentes no efluente deverão ser removidos pelo processo de OR.

5.1.2 Comportamento dos parâmetros

Foram impostas três diferentes taxas de remoção sendo realizados três testes para cada uma destas condições.

A imposição de três diferentes taxas de operação objetiva a comparação do comportamento do sistema e de suas eficiências de remoção quando submetido a três situações operacionais adversas as quais impactam diretamente na vazão de água produzida e volume descartado. Durante cada teste foram coletadas amostras de 3 pontos: (1) água de alimentação, (2) do permeado e (3) do rejeito, sendo estes últimos continuamente monitorados durante as 2 horas de operação.

5.1.2.1 Taxa de Recuperação de 50 %

Na primeira condição imposta a taxa de recuperação de água estabelecida foi de 50%. Os resultados de pH, temperatura, condutividade, STD e turbidez são mostrados na Tabela 5.

O pH apresentou pouca variação durante as duas horas de operação em ambos os pontos monitorados, porém ao comparar os três testes realizados observa-se que, embora o pH da amostra de alimentação dos três testes apresentasse valores muito próximos, o permeado, apresentou um aumento de pH nos testes 1 e 3 em torno de 10% e 3% respectivamente, e uma redução média de 7% no teste 2. O pH do rejeito aumentou em todos os testes apresentando valores entre 8,17 a 8,61.

Esta variação comportamental do pH nas amostras de permeado pode ter sido causada pelo fato do pHmetro utilizado ser de baixa impedância, o qual pode provocar interferência nos resultados quando a água analisada apresenta baixa salinidade (50-350 mg/L de STD) (CONTATO PESSOAL, Cícero Franco, 2011)

A temperatura apresentou o mesmo comportamento durante os três testes, apresentando um aumento sutil nos seus valores tanto nas correntes de permeado quanto de rejeito, quando comparado com a amostra da água de alimentação.

Nos três testes a condutividade e os STD apresentaram queda drástica nas amostras de permeado e um fator de concentração em torno de 2 vezes da nas amostras de rejeito, conforme esperado, uma vez que o volume de água descartada corresponde a ½ da água de alimentação. A redução média da condutividade nos testes 1, 2 e 3 respectivamente foi de 96,1%, 97,3% e 96,4% enquanto que o rejeito apresentou um acréscimo de 47,5%, 46,9% e 45,3%. Com relação aos STD as amostras de permeado apresentaram uma taxa de remoção de 96,9%, 97,4% e 96,7%, para os testes 1,2 e 3 respectivamente, enquanto o rejeito apresentou-se 40,0% mais concentrado em sólidos dissolvidos no teste 1, 49,3% no teste 2 e 48,3% no teste 3.

A turbidez apresentou igualmente o mesmo comportamento durante o processo de filtração para os três testes aplicados, sendo observada uma redução de 92,9%, 67,9% e 65,8% respectivamente nas amostras de permeado e uma maior concentração de sólidos nas amostras de rejeito. Observa-se que houve uma remoção maior de turbidez no teste 1 devido ao valor de 2,57 NTU que o efluente bruto apresentou durante este dia. Porém, a remoção de grande parte desta turbidez provavelmente foi realizada pelo filtro de cartucho que antecede as membranas, devido a dois fatores: o primeiro indício consiste nos baixos valores de turbidez nas correntes de permeado e rejeito, os quais se mantiveram, respectivamente, na faixa de 0,11 a 0,26 e 0,83 a 0,96. O segundo fator consiste na variação da pressão na linha do filtro de cartucho que foi observada durante este teste através da oscilação do manômetro entre 0 a 5 mca. Esta oscilação ocorreu durante os 30 primeiros minutos de operação e após este período o manômetro estabilizou em zero. Portanto, provavelmente haviam algumas partículas decantadas no tanque de armazenamento, as quais foram observadas na análise da amostra do efluente bruto e igualmente recalcadas para o sistema de OR.

Embora a remoção de turbidez seja realizada pelo sistema de MBR, o qual é dotado de membranas de UF, e pelo filtro de cartucho, ambos antecedentes a OR, observa-se em geral que ainda há um resquício de sólidos na água de alimentação do sistema, pois as amostras de permeado e rejeito apresentam turbidez. Porém seus valores estão abaixo do limite de 1,0 NTU recomendado pelos fabricantes.

TABELA 5 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR.

Tempo (min)	Parâmetros				
	pH	Temp (℃)	Cond. (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbid. (NTU)
TESTE 1					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,35	20,1	6100	3800	2,57
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	8,81	21,6	248	118	0,21
30	9,29	21,4	255	121	0,26
60	9,23	19,8	243	114	0,2
90	9,61	21,4	220	112	0,13
120	9,70	21,6	225	110	0,11
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,17	21,2	11630	6430	0,96
30	8,45	21,4	11510	6290	0,95
60	8,48	20,1	11610	6450	0,89
90	8,56	20,3	11620	6430	0,83
120	8,61	21,2	11020	6090	0,89
TESTE 2					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,24	22,4	3420	1740	0,43
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	7,56	23,4	98,7	47	0,15
30	7,72	23,3	94,2	45	0,12
60	7,65	23,6	92,1	44	0,1
90	7,75	24,8	91,5	43	0,15
120	8,43	24,6	92,6	44	0,17
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,32	23,7	6460	3450	0,54
30	8,42	23,4	6450	3430	0,52
60	8,38	23,3	6460	3430	0,52
90	8,36	24,9	6460	3430	0,57
120	8,41	24,8	6410	3410	0,62
TESTE 3					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,35	17,2	5350	2790	0,62
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	8,70	17,3	203	96	0,13
30	8,75	18,0	198,3	95	0,15
60	8,50	18,8	196,5	93	0,14
90	8,52	17,2	184,7	88	0,16
120	8,43	17,5	190,5	91	0,17
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,36	17,2	9900	5410	0,73
30	8,40	17,5	9900	5420	0,72
60	8,47	18,6	9840	5400	0,71
90	8,36	17,2	9670	5280	0,74
120	8,41	17,3	9990	5460	0,76

As Figura 28 e 29 mostram a variação da condutividade e STD durante a filtração.

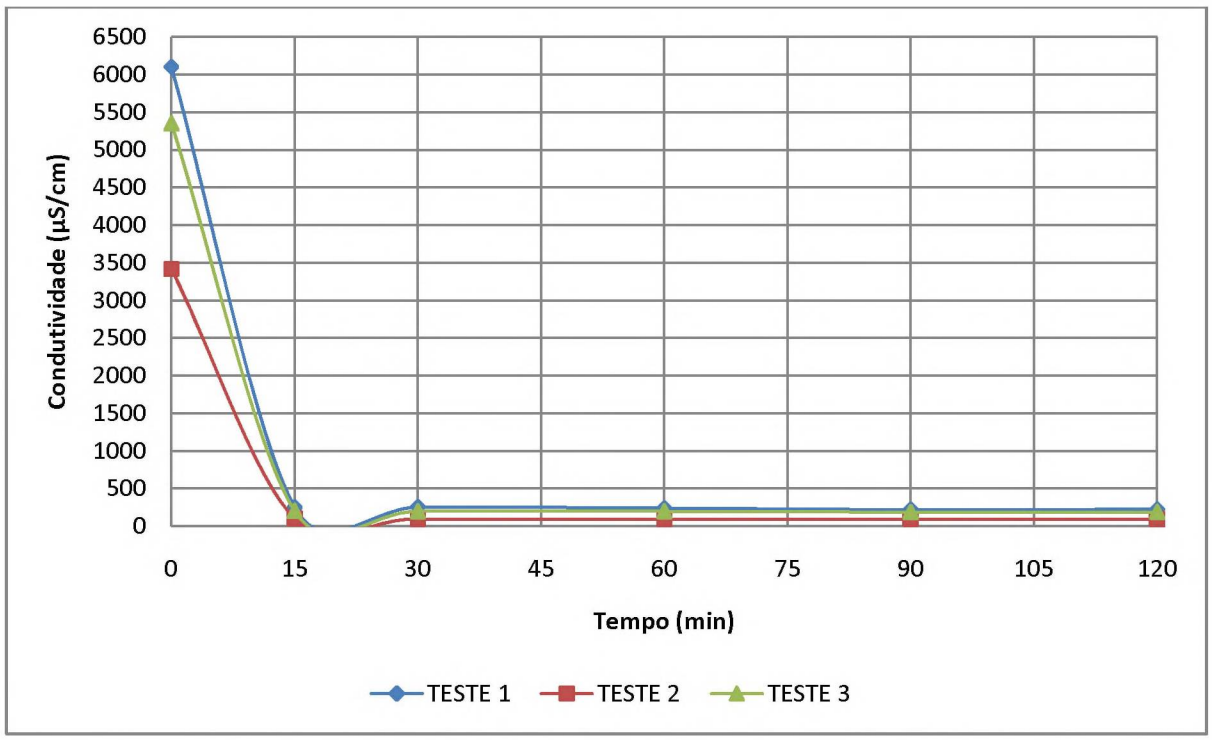


FIGURA 28 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%.

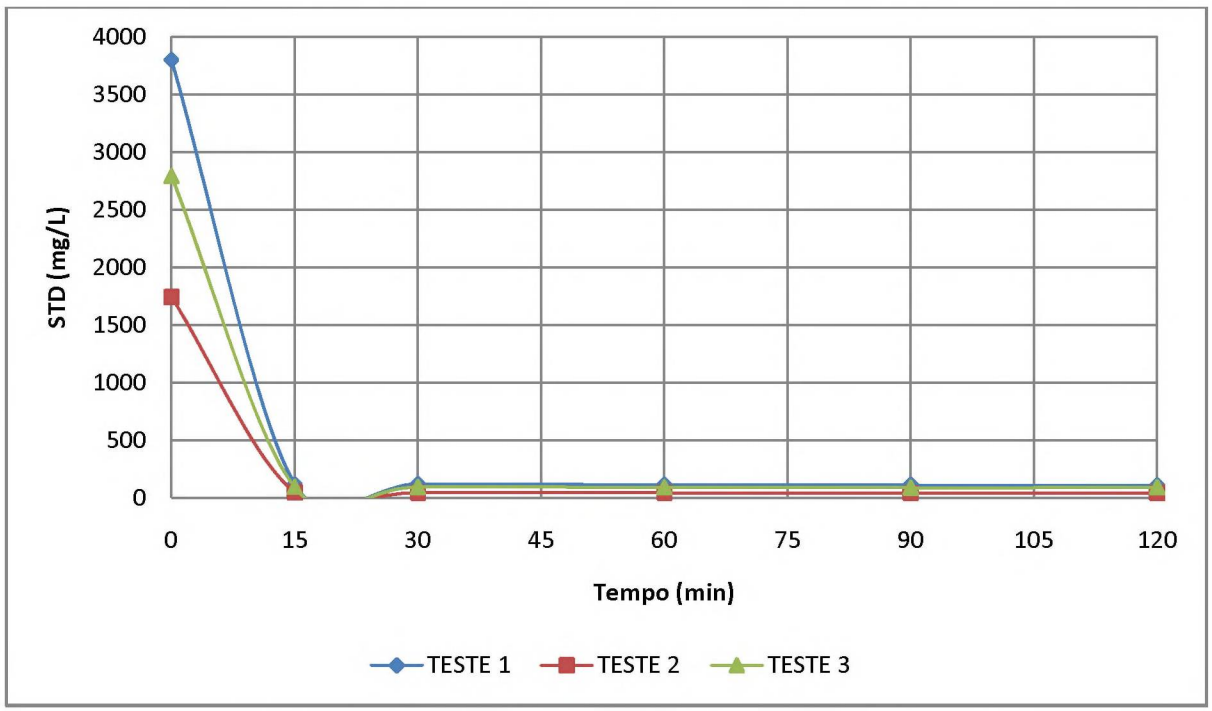


FIGURA 29 - VARIAÇAO DOS STD DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%.

Uma vez que ambos os parâmetros, condutividade e STD, são diretamente dependentes, há uma similaridade no seu comportamento observada nos três testes. Tanto a condutividade como o STD apresentam uma redução drástica nos seus valores. Esta redução é menor no início da filtração e torna-se praticamente constante a partir dos 30 minutos de operação. Como esta variação é discreta não é detectada através da análise gráfica, porém pelos valores da Tabela 5 observa-se que há maior passagem de sais para corrente de permeado durante este período, a qual é esperada devido ao fenômeno típico de polarização dos compostos nos processos de separação por membranas. Este polarização provoca uma maior concentração de sais na camada limite logo acima da superfície da membrana permitindo, assim uma maior passagem de compostos devido a sua alta concentração nesta região e a taxa de difusão ser mais lenta que taxa de transporte do soluto por entre a membrana. No momento em que taxa de difusão de soluto de volta ao meio se iguala com o fluxo de soluto por entre a membrana o equilíbrio na camada limite é alcançado e a taxa de remoção se torna constante.

Conforme mostrado na Tabela 6, a vazão do permeado e do rejeito apresentaram-se praticamente constante nos valores de 590,5 L/h e 635,9 L/h nos testes 1 e 2, somente com uma pequena queda pontual de vazão do rejeito por volta de 60 minutos de operação neste último. Já o teste 3 iniciou com uma igual vazão de 590,5L/h de permeado e rejeito e apresentou queda em ambas as correntes para a vazão de 567,8 L/h a partir de 45 minutos de operação permanecendo praticamente constante neste valor até o período final de filtração. No dia em que foi realizado o teste 2 o efluente bruto apresentou uma menor salinidade, fator este que impactou diretamente no fluxo por entre a membrana, uma vez que a pressão de entrada foi mantida a mesma durante os três testes. A temperatura neste dia também estava mais elevada o que pode, igualmente, ter contribuído com o aumento deste fluxo. Segundo Kucera (2010), para temperaturas abaixo de 45°C, a cada variação de 1°C, há uma variação em torno de 3% no fluxo de água pela membrana.

A taxa de recuperação foi mantida praticamente constante em 50% nos três testes durante todo o período de filtração.

TABELA 6 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES NA CONDIÇAO DE R=50%.

Tempo (min)	Vazão (L/h)	Taxa recuperação (%)	Vazão (L/h)	Taxa recuperação (%)	Vazão (L/h)	Taxa recuperação (%)
	TESTE 1		TESTE 2		TESTE 3	
AMOSTRA DE PERMEADO						
0	590,5	50%	635,9	50%	590,5	50%
15	590,5	50%	635,9	50%	590,5	50%
30	590,5	50%	635,9	50%	590,5	50%
45	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%
60	590,5	52%	635,9	50%	567,8	50%
75	590,5	50%	635,9	50%	545,0	49%
90	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%
105	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%
120	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%
AMOSTRA DE REJEITO						
0	590,5	50%	635,9	50%	590,5	50%
15	590,5	50%	635,9	50%	590,5	50%
30	590,5	50%	635,9	50%	590,5	50%
45	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%
60	545,0	48%	635,9	50%	567,8	50%
75	590,5	50%	635,9	50%	567,8	51%
90	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%
105	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%
120	590,5	50%	635,9	50%	567,8	50%

As Figuras 30 e 31 mostram respectivamente a variação das vazões de permeado e da vazão total do sistema, a qual é obtida através da soma das vazões de permeado e rejeito, ambas ao longo do processo de filtração.

A maior queda de vazão foi observada no teste 3. Neste teste a vazão total do sistema começou a apresentar uma queda de 45,4 L/h a partir dos 45 minutos de operação. Esta queda apresentou uma redução de mais 22,7 L/h no tempo de 75 minutos, porém, retomou a vazão anterior no tempo de 90 minutos. No teste 1 houve uma pequena queda na vazão total devido a um decréscimo da vazão de rejeito no tempo de 60 minutos, porém esta queda foi pontual e a vazão retornou ao seu valor inicial no decorrer do processo. E por fim no teste 2 a vazão total do sistema manteve-se constante durante os 120 minutos. Estas pequenas variações e retomadas de vazões podem indicar uma possível alto limpeza da membrana ao longo da filtração devido as altas velocidades envolvidas no processo.

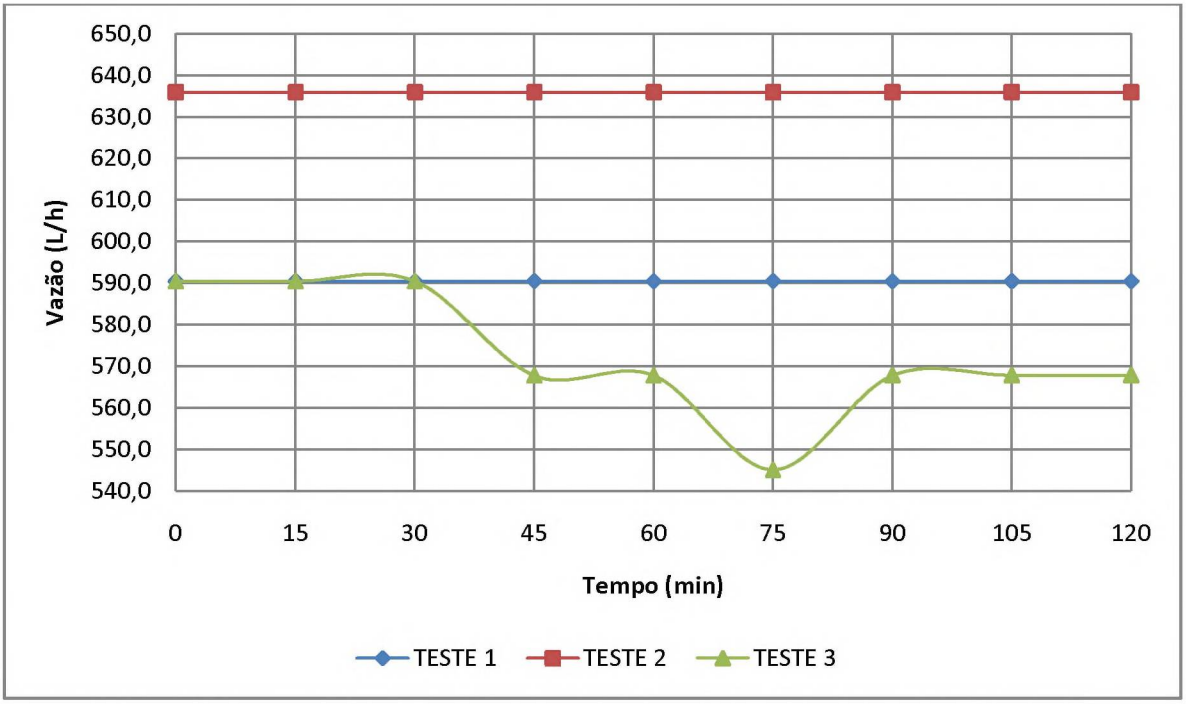


FIGURA 30 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%.

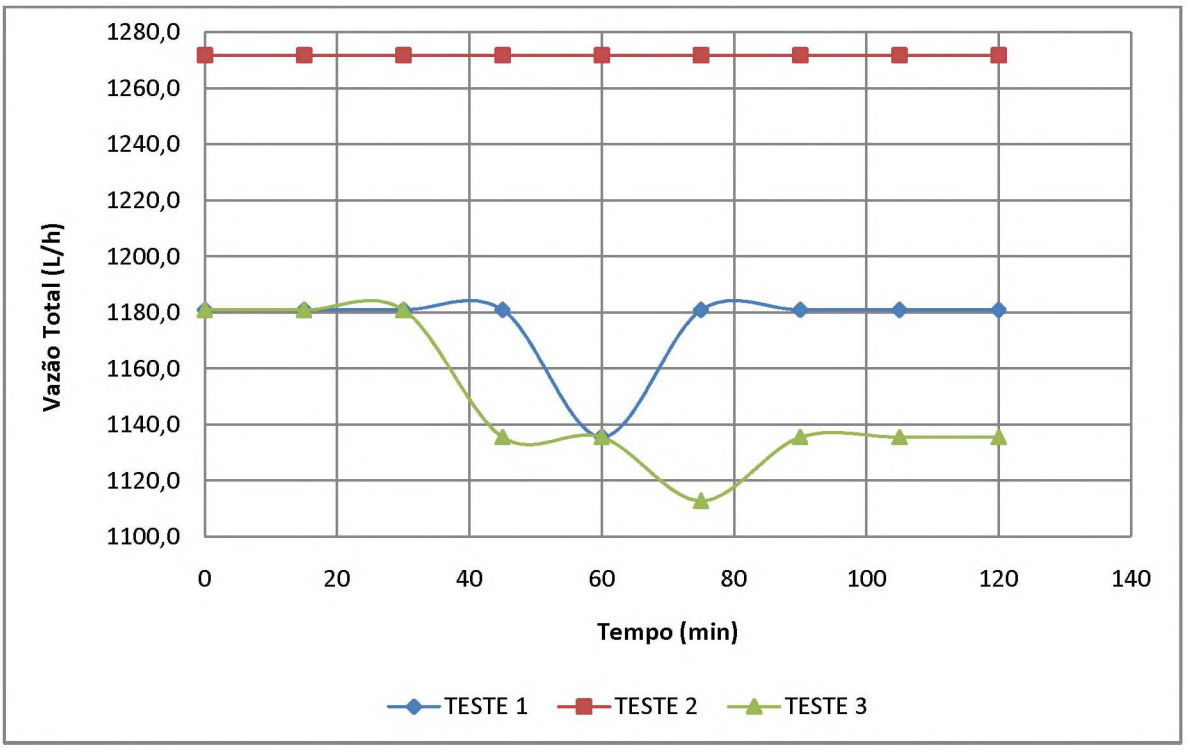


FIGURA 31 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%.

A pressão de entrada e saída foram igualmente monitoradas, sendo apresentadas na Tabela 7. Nos testes 1, 2 e 3 as pressões de entrada ficaram em torno de 19,0 kgf/cm², 18,4 kgf/cm² e 18,5 kgf/cm² respectivamente com uma

variação em torno de 0,50, 0,22 e 0,54 kgf/cm² para pressão de saída. Como o ΔP observado não apresentou grandes variações, mantendo-se praticamente constante ao decorrer da operação, sua existência provavelmente está correlacionada a própria resistência da membrana e ao fenômeno de concentração polarização do sistema.

TABELA 7 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO.

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)
	Entrada	Saída	PS - PE	Entrada	Saída	PS - PE	Entrada	Saída	PS - PE
	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
0	19,0	19,5	0,50	18,50	18,75	0,25	18,75	19,25	0,50
15	19,0	19,5	0,50	18,50	18,75	0,25	18,75	19,25	0,50
30	19,0	19,5	0,50	18,50	18,75	0,25	18,75	19,25	0,50
45	19,25	19,5	0,25	18,38	18,63	0,25	18,25	19,00	0,75
60	19,0	19,5	0,50	18,38	18,63	0,25	18,25	19,00	0,75
75	19,0	19,5	0,50	18,38	18,63	0,25	18,25	18,88	0,63
90	19,0	19,5	0,50	18,38	18,50	0,13	18,75	18,88	0,13
105	19,0	19,5	0,50	18,38	18,50	0,13	18,75	19,25	0,50
120	19,0	19,5	0,50	18,25	18,50	0,25	18,75	19,38	0,63

LEGENDA: ΔP: variação da pressão; PS: pressão de saída; PE: pressão de entrada.

Foram ainda analisados parâmetros físico químicos nas amostras do efluente bruto e de permeado obtido no processo de OR. Os valores médios obtidos nos 3 testes e suas respectivas remoções são apresentadas na Tabela 8.

Ao analisar a qualidade do permeado observa-se que todos os compostos apresentaram remoções satisfatórias, em média maiores que 95%.

A DQO, a qual consiste hoje no parâmetro mais difícil a ser atingido pela empresa, apresentou valores em média abaixo de 10,5 mg/L com taxa de remoção igual a 95,9%.

Porém, uma vez que a qualidade da água de alimentação está diretamente relacionada ao desempenho da OR durante o processo de filtração e a formação de *fouling* e *scaling*, alguns parâmetros merecem ser destacados.

Os valores de COT indicam a presença de compostos orgânicos na água, os quais provocam o *fouling* da membrana. O valor recomendado, segundo Kucera (2010), para que este fenômeno seja evitado é de 3,0 ppm, porém o valor médio encontrado na água durante estes testes foi de 33,18 mg/L., indicando assim que há uma possível tendência a formação de *fouling* biológico.

TABELA 8 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS PARA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO 01

Parâmetros	Unidade	Bruto	Permeado	E.R. (%)	E.R. Lit (%)
DQO	mg/L	256,2 ± 125,3	10,5 ± 18,2	95,9%	85 – 95(*)
DBO	mg/L	28,50 ± 14,08	1,30 ± 1,154	95,3%	75 – 90(*)
Fosfato	µg/L	0,4469 ± 0,14	0,1438 ± 0,2154	67,8%	96 – 98
Nitrato	mg/L	314,5 ± 102,21	12,18 ± 4,83	96,1%	65 – 85(*)
Cloreto	mg/L	640,03 ± 173,94	11,81 ± 10,56	98,2%	92 – 98
Dureza	mg/L	713,3 ± 431,89	2,00 ± 1,73	99,7%	93 – 99
Alcalin.	mg/L	463,44 ± 116,97	22,22 ± 9,97	95,2%	96 – 99
COT	mg/L	28,35 ± 10,28	1,90 ± 1,98	93,3%	85 – 95(*)
SST	mg/L	0	0	100%	95 – 100(*)
Amônia	mg/L	18,00 ± 21,28	2,49 ± 2,078	86,2%	90 – 98
Ferro	mg/L	3,41 ± 3,22	0,001	>99,9%	96 – 98
Manganês	mg/L	0,59 ± 0,51	0,001	>99,8%	96 – 98
Zinco	mg/L	0,98 ± 0,49	0,001	>99,9%	96 – 98
Níquel	mg/L	3,64 ± 0,25	0,001 ± 0,028	>99,9%	96 – 99
Sílica	mg/L	5,00 ± 1	1,0	>80%	92 – 95
Bário	mg/L	0,032± 0,0124	0,01	>69%	S.R.
Sódio	mg/L	592,3 ± 294,20	23,86 ± 8,609	96,0%	92 – 98
Alumínio	mg/L	0,185 ± 0,149	0,01 ± 0,0	>94,6%	96 – 98
Colif Totais	NMP/100ml	10,9	< 1,0	100%	S.R.
Colif Fecais	NMP/100ml	2,0	< 1,0	100%	S.R.
Cor	Hazen	376,7 ± 244,20	0	100%	90 – 96(**)

FONTE: AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇAO FORAM OBTIDAS NA LITERATURA DE KUCERA (2010), SENDO ESTAS AS CAPACIDADES DE REJEIÇAO OBTIDAS PELA MAIORIA DAS MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA EM SISTEMAS DE OR, A UMA TEMPERATURA AMBIENTE.

LEGENDA: (*) Estas eficiências foram fornecidas por Whitley Burchett & Associados (1999) adaptado por Metcalf & Eddy (2004), referente a operação de sistema de OR na Estaçao de Tratamento Sanitário de Dublin-San Ramon, no período de 4/1999 a 12/1999. (**) Eficiência extraída do trabalho de Ushikoshi et al. (2002) sobre sistema de OR para tratamento de lixiviado de aterro sanitário. E.R. (Eficiência Remoção); E.R.Lit. (Eficiência de Remoção na Literatura); N.A. (Não avaliado), S.R. (Sem referência).

Segundo Huger (1998), os constituintes mensurados pela análise de COT, tais como polissacarídeos e outros compostos orgânicos dissolvidos, podem ainda causar danos irreparáveis a membrana. Em seu estudo a água de alimentação apresentou valores de COT em torno de 2,8 ppm e após 4 semanas de operação a pressão de entrada apresentou um aumento de 25% a qual não retornou ao valor anteriormente obtido nem mesmo após realização da lavagem química das membranas. Após análise da membrana constatou-se que 11,0% do COT da água de alimentação foi absorvido por esta. A influência do COT na formação de biofouling também é mostrada nos estudos efetuados por Pervov (1999), o qual obteve um crescimento no acúmulo de bactérias proporcional ao aumento dos valores e COT e, consequentemente, uma redução de fluxo pela membrana devido

a formação do *fouling*. Segundo Tam *et al.* (2005), a dosagem de hipoclorito de sódio na entrada do sistema pode ajudar a controlar a proliferação de microorganismos na superfície da membrana reduzindo assim o potencial ao *fouling* biológico.

A cor também se fez presente nesta água de alimentação, estando aproximadamente 125 vezes acima do limite recomendado pela empresa DOW Water & Process Solutions, a qual fabrica membranas espirais poliméricas. Segundo Pervov (1999), tanto a presença de ferro, entre 1-15mg/L, quanto de ácidos fúlvicos e húmicos provocam queda no fluxo de permeado contribuindo para formação de *fouling* nas membranas.

Os valores de cor nos testes 1, 2 e 3 foram 650, 180 e 300 Hz respectivamente enquanto que do rejeito foram 1100, 300 e 600 Hz. Portanto o rejeito apresentou-se na faixa de 40,0 a 50,0% mais concentrado em termos de cor nos três testes sob esta condição de operação. O permeado apresentou-se isento de cor em todos os testes com uma taxa de remoção de 100% deste parâmetro. A Figura 32 mostra o aspecto visual dos três pontos de coleta analisados durante este trabalho.

FIGURA 32 - EFLUENTE ANTERIOR AO TRATAMENTO POR OR E OS DESCARTES PERMEADO E REJEITO GERADAS APÓS O PROCESSO.

LEGENDA: Efluente bruto após tratamento por MBR, permeado e rejeito. A cor do efluente bruto e do rejeito neste dia correspondem a 650 e 1100 Hz com uma eficiência de remoção de 100% e concentração de rejeito de 41,0%.

A presença de outros metais além do ferro tais como manganês, alumínio, bário e níquel também foram detectados na água de alimentação e, com exceção do bário, todos apresentaram valores acima do adequado de 0,05 ppm (KUCERA, 2010).

Porém, dois dos parâmetros mais significativos correspondem a dureza e a alcalinidade. A dureza representa a quantidade de cálcio presente no efluente enquanto que a alcalinidade a quantidade de bicarbonato (Cícero, CONTATO PESSOAL). Ambos estão relacionados ao potencial de *scaling* de uma água.

Ao calcular o Índice de Langelier obteve-se 2,01, 1,20 e 1,60 respectivamente para os testes 1, 2 e 3, o que indica uma severa propensão ao *scaling* ou a precipitação de carbonato de cálcio sob a superfície da membrana. Segundo Pervov (1998), neste caso o declínio do fluxo por entre a membrana não ocorre devido ao aumento da resistência a filtração oriunda da camada adicional formada sob a membrana, mas sim pelo aumento da polarização por concentração que este acúmulo de sais provoca. Por isso que esta redução é acompanhada por um igual comportamento na rejeição de sais.

Segundo Chianese *et al.* (1998) a DQO também provoca uma redução na produção de permeado, sendo o limite máximo de 10mg/L segundo o fabricante DOW Water & Process Solutions.

Quanto ao rejeito foram feitas apenas análises de DQO e suas concentrações para os testes 1, 2 e 3 foram respectivamente 782 mg/L, 109 mg/L e 270mg/L, apresentando um taxa de concentração média de 2,4 com relação ao efluente bruto.

5.1.2.2 Taxa de Recuperação de 65%

Na Condição 2 a taxa de recuperação de água estabelecida foi de 65%. Os resultados de pH, temperatura, condutividade, STD e turbidez são mostrados na Tabela 9.

O pH da água de alimentação apresentou-se na faixa de 8 nos três testes realizados sendo seus valores 8,57, 8,05 e 8,03 respectivamente. Os outros dois pontos monitorados apresentaram uma variação sutil durante as duas horas de

operação. As amostras de rejeito apresentaram em média valores maiores que o da água de alimentação nos três testes variando entre 8,52 a 8,62 no teste 1, 8,00 a 8,30 no teste 2 e 8,07 a 8,32 no teste 3. Porém as amostras de permeado apresentaram queda nos testes 2 e 3, com valores na faixa de 7,03 a 7,42 e 7,68 a 7,96 respectivamente e valores acima da amostra da água de alimentação no teste 1, estando estes na faixa de 9,15 a 9,49. Novamente pode ter havido alguma interferência devido ao fato do pHmetro utilizado ser de baixa impedância.

A temperatura apresentou o mesmo comportamento durante os três testes com um aumento em torno de 1,3℃, 1,8℃ e 1,4℃ nas amostras de permeado e rejeito nos testes 1,2 e 3 respectivamente.

Nos três testes a condutividade e os STD apresentaram queda drástica nas amostras de permeado e um aumento na concentração de sais na amostra de rejeito em torno de 3 vezes a da concentração da água de alimentação. Tanto a condutividade quanto os STD apresentaram valores maiores nos primeiros 30 minutos de operação, indicando uma maior passagem de sais pela membrana durante este período, decorrente do fenômeno de polarização por concentração. Decorrentes 30 a 40 minutos de processo o equilíbrio na camada limite foi, aparentemente, estabelecido e a taxa de remoção de sais estabilizada.

A redução média da condutividade nos testes 1, 2 e 3 respectivamente foi de 93,1%, 95,1% e 94,6% enquanto que o rejeito apresentou uma aumento de 164,1%, 161,3% e 158,6%. Com relação aos STD as amostras de permeado apresentaram uma taxa de remoção de 93,7%, 95,5% e 95,5%, para os testes 1,2 e 3 respectivamente enquanto o rejeito apresentou um aumento de concentração de 163,7%, 164,0% e 163,8%.

A turbidez também apresentou queda na amostra de permeado e aumento na amostra de rejeito com pouca variação de seus valores durante o processo de filtração. A redução na amostra de permeado foi de 79,7% no teste 1, 78,4% no teste 2 e 73,2% no teste 3, com valores na faixa de 0,12 a 0,16 NTU no primeiro teste, 0,09 a 0,18 NTU no segundo teste e 0,14 a 0,20 no terceiro teste. As amostras de rejeito, por sua vez, apresentaram um aumento em torno de 132,0% nos três testes. Os valores de entrada estavam abaixo de do limite de 1 NTU recomendado pelos fabricantes.

TABELA 9 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR.

Tempo (min)	Parâmetros				
	pH	Temp (ºC)	Cond. (µs/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)
TESTE 1					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,57	22,40	5590	2930	0,69
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	9,49	23,30	392	187	0,12
30	9,27	23,80	401	191	0,12
60	9,15	23,90	397	191	0,15
90	9,28	23,60	371	177	0,16
120	9,46	23,90	380	181	0,15
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,58	23,90	15470	8730	0,89
30	8,53	24,50	16020	9060	0,92
60	8,52	24,40	15580	8800	0,90
90	8,59	23,50	15470	8740	0,94
120	8,62	23,80	15440	8720	0,91
TESTE 2					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,05	21,40	4930	2570	0,61
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	7,75	23,00	251	120	0,13
30	7,03	22,50	246	117	0,09
60	7,42	22,70	240	114	0,10
90	7,24	23,60	234	111	0,18
120	7,32	24,30	236	112	0,16
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,06	22,50	12710	7110	0,77
30	7,95	22,10	12770	7150	0,79
60	8,00	24,20	12770	7140	0,82
90	8,10	23,90	12760	7140	0,83
120	8,30	23,40	12760	7140	0,81
TESTE 3					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0	8,03	16,40	4970	2510	0,62
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	7,78	17,10	272	129	0,20
30	7,96	17,30	268	127	0,14
60	7,85	17,50	263	125	0,15
90	7,68	18,10	270	128	0,16
120	7,79	18,30	262	124	0,18
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,10	17,40	11910	6590	0,82
30	8,32	17,40	11990	6990	0,78
60	8,07	17,70	12130	7060	0,80
90	8,21	18,30	11900	6950	0,75
120	8,09	18,40	12130	7070	0,79

As Figuras 33 e 34 mostram a variação da condutividade e STD durante a filtração nas correntes de permeado e rejeito.

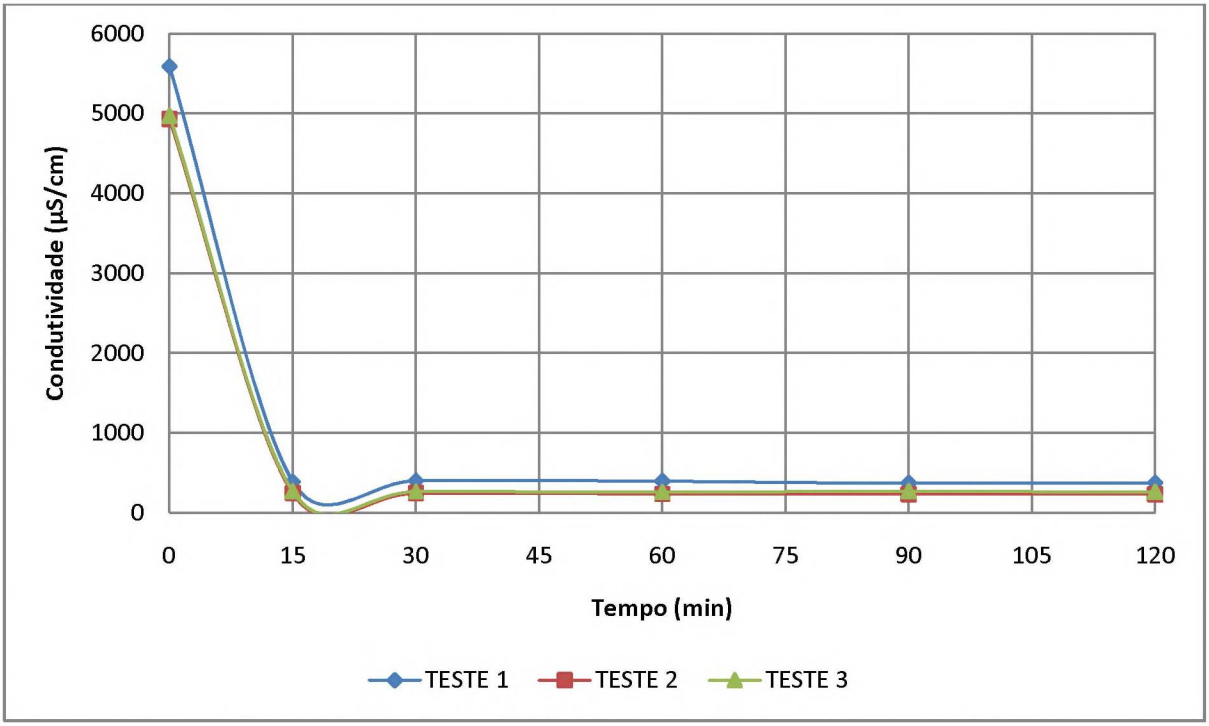


FIGURA 33 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.

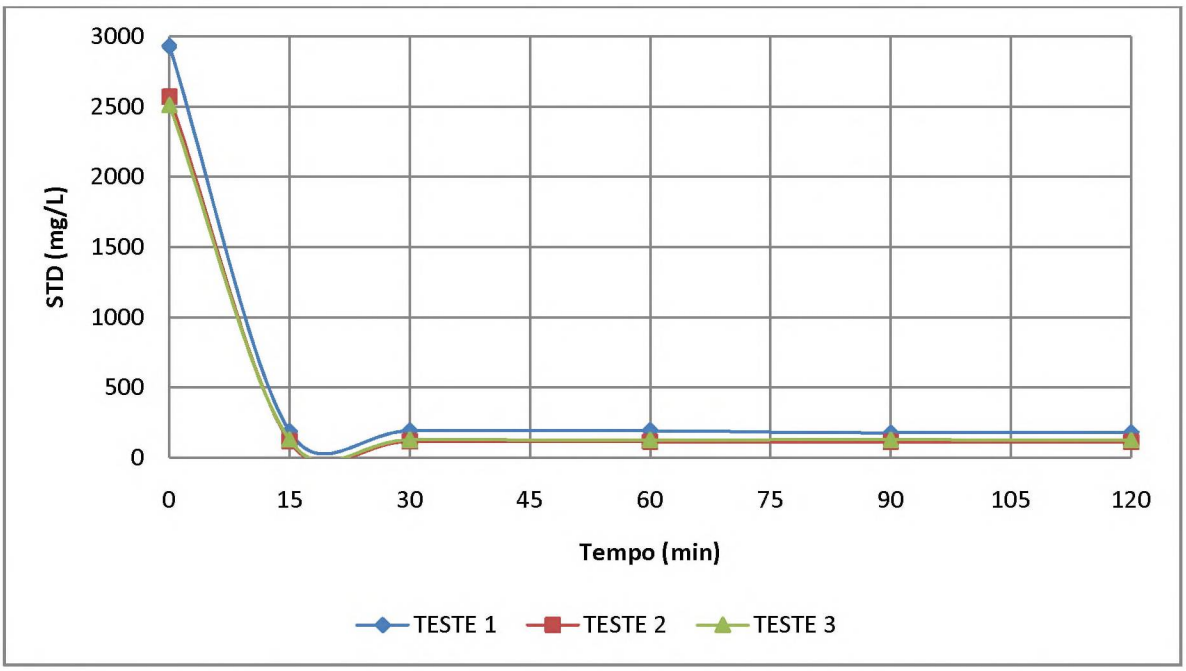


FIGURA 34 - VARIAÇAO DOS STD DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.

A vazão do permeado e do rejeito apresentaram pouca variação durante o processo de filtração em cada um dos testes, mantendo a taxa de recuperação sempre na faixa de 63,47 a 66,67%. Nos testes 1 e 2 a vazão de permeado

permaneceu na faixa de 635,9 a 590,5 L/h e no teste 3 de 613,2 a 590,5 L/h. A vazão do rejeito decaiu no teste 1 da vazão de 363,4 L/h para 317,9 L/h a partir dos 30 primeiros minutos de operação e manteve-se constante durante todo o período de filtração nos teste 2 e 3 na vazão de 317,9L/h, com uma redução pontual apenas nos 90 minutos do teste 3. Estes valores são mostrados na Tabela 10.

TABELA 10 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES NA CONDIÇAO DE R=65%.

Tempo (min)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)
	TESTE 1		TESTE 2		TESTE 3	
AMOSTRA DE PERMEADO						
0	635,9	63,64%	613,2	65,85%	613,2	65,85%
15	631,3	63,47%	613,2	65,85%	613,2	65,85%
30	635,9	66,67%	590,5	65,00%	613,2	65,85%
45	613,2	65,85%	590,5	65,00%	613,2	65,85%
60	613,2	65,85%	590,5	65,00%	613,2	65,85%
75	590,5	65,82%	635,9	66,67%	601,8	65,43%
90	613,2	65,85%	635,9	66,67%	613,2	66,67%
105	613,2	65,85%	635,9	66,67%	601,8	65,43%
120	613,2	65,85%	635,9	66,67%	590,5	65,00%
AMOSTRA DE REJEITO						
0	363,4	36,36%	317,9	34,15%	317,9	34,15%
15	363,4	36,53%	317,9	34,15%	317,9	34,15%
30	317,9	33,33%	317,9	35,00%	317,9	34,15%
45	317,9	34,15%	317,9	35,00%	317,9	34,15%
60	317,9	34,15%	317,9	35,00%	317,9	34,15%
75	306,6	34,18%	317,9	33,33%	317,9	34,57%
90	317,9	34,15%	317,9	33,33%	306,6	33,33%
105	317,9	34,15%	317,9	33,33%	317,9	34,57%
120	317,9	34,15%	317,9	33,33%	317,9	35,00%

A maior queda de vazão foi observada no teste 1, o qual iniciou com uma vazão de entrada de 999,4 L/h e apresentou uma queda de 68,1 L/h após 45 minutos de operação devido a queda de vazão em ambas as correntes, permeado e rejeito. O teste 2 apresentou uma redução da vazão total de apenas 22,7 L/h nos períodos de 75 a 105 minutos e depois retornou a operar com a mesma vazão de entrada que obteve no início da operação, o que indica provavelmente uma alto limpeza da superfície da membrana durante o processo de filtração. Já no teste 3 observa-se um queda gradativa da vazão total do sistema a partir dos 90 minutos de operação iniciando com um perda de 11,4 L/h e finalizando o processo com uma queda total de 22,7 L/h.

As Figuras 35 e 36 mostram a variação das vazões de permeado e vazão total do sistema ao longo do processo de filtração.

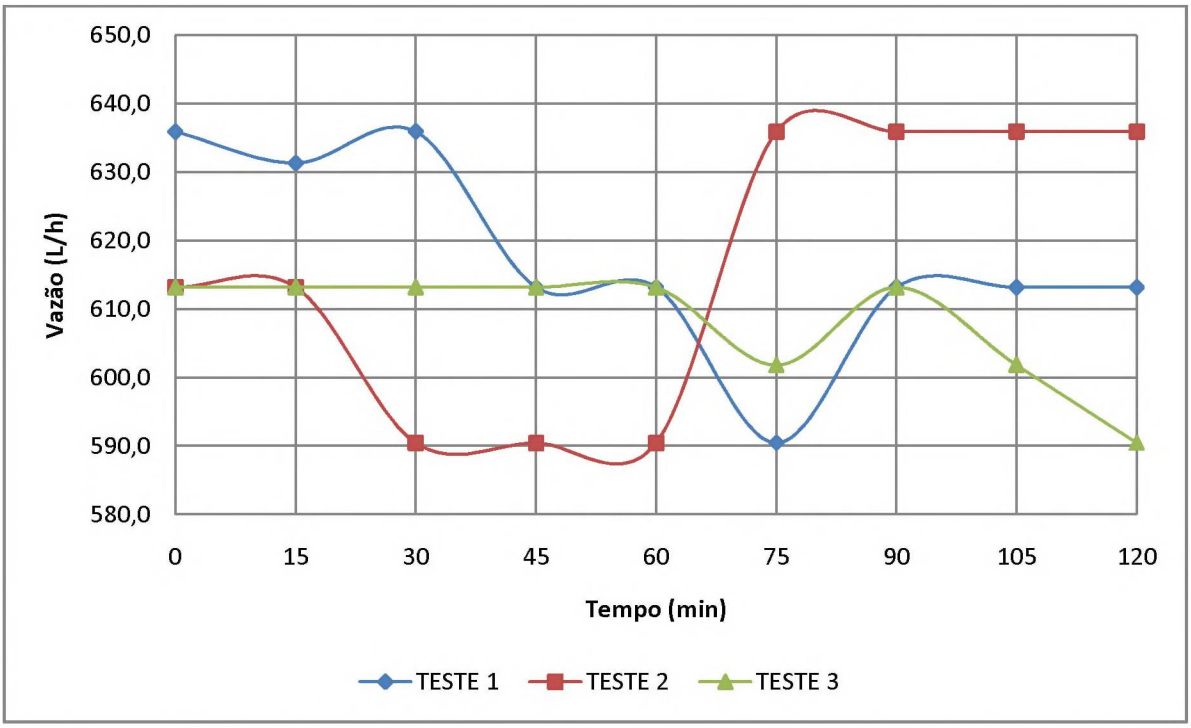


FIGURA 35 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

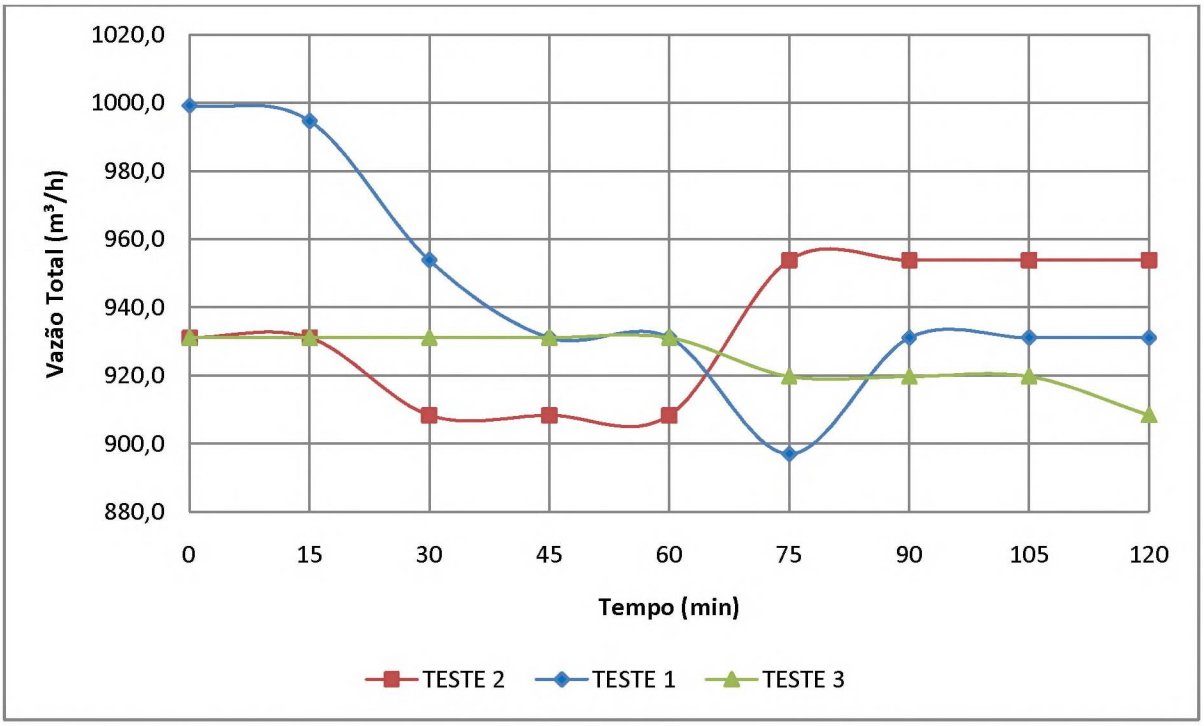


FIGURA 36 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

A tendência da vazão de permeado é decair ao longo do tempo, porém novamente são observadas pequenas variações e retomadas de vazões, as quais podem indicar uma possível auto limpeza da membrana ao longo da filtração devido as altas pressões e as velocidades envolvidas no processo.

A Tabela 11 mostra as pressões de entrada e saída da unidade piloto. Os três testes apresentaram uma variação praticamente constante entre estas pressões no decorrer do processo de filtração, o que indica que este ΔP seja oriundo da própria resistência da membrana e novamente do fenômeno de concentração polarização do sistema. Além disso, como a redução de vazão foi menor que 20%, o que indica que as membranas não necessitam de limpeza química e, portanto, não estão incrustadas ou entupidas, a variação na pressão provavelmente seja devido aos fenômenos já citados.

TABELA 11 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO.

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)
	Entrada	Saída	PS - PE	Entrada	Saída	PS - PE	Entrada	Saída	PS - PE
	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
0	20,25	20,75	0,50	19,50	20,25	0,75	19,75	20,50	0,75
15	20,25	20,90	0,65	19,50	20,25	0,75	19,75	20,50	0,75
30	20,25	20,25	0,00	19,50	20,25	0,75	19,75	20,50	0,75
45	19,75	20,25	0,50	19,50	20,25	0,75	19,75	20,25	0,50
60	19,75	20,25	0,50	19,50	20,25	0,75	19,75	20,25	0,50
75	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75
90	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75
105	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75
120	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75	19,50	20,25	0,75

Quanto à qualidade de água de alimentação, a remoção média dos parâmetros físico químicos analisados são ilustrados na Tabela 12.

Ao analisar a qualidade do permeado observa-se que as remoções estão muito próximas das atingidas em outros estudos relacionados na literatura e mencionados na Tabela 12.

A DQO, a qual consiste hoje no parâmetro mais difícil a ser atingido pela empresa, apresentou valores em média abaixo de 23,8 mg/L com taxa de remoção igual a 87,96%.

TABELA 12 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS PARA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO 02.

Parâmetros	Unidade	Bruto	Permeado	E.R. (%)	E.R. Lit. (%)
DQO	mg/L	197,3 ± 58,7	23,8 ± 19,5	87,9%	85 – 95(*)
DBO	mg/L	20,5 ± 6,1	0,7 ± 0,6	96,7%	75 – 90(*)
Fosfato	µg/L	0,5135 ± 0,47	0,043 ± 0,0216	91,6%	96 – 98
Nitrato	mg/L	314,93 ± 22,68	20,56 ± 5,98	93,5%	65 – 85(*)
Cloreto	mg/L	669,89 ± 60,10	6,76 ± 0,67	98,9%	92 – 98
Dureza	mg/L	823,4 ± 158,05	2,5 ± 1,0	99,7%	93 – 99
Alcalinidade	mg/L	435,16 ± 87,70	23,57 ± 2,45	94,6%	96 - 99
COT	mg/L	27,43 ± 5,61	1,08 ± 0,73	96,1%	85 – 95(*)
SST	mg/L	0	0	100%	95 – 100(*)
Amônia	mg/L	14,23 ± 3,80	1,92 ± 0,7	86,5%	90 – 98
Ferro	mg/L	3,49 ± 0,25	0,001	> 99,9%	96 – 98
Manganês	mg/L	0,13 ± 0,21	0,001	> 99,5%	96 – 98
Zinco	mg/L	0,70 ± 0,22	0,001	> 99,9%	96 – 98
Níquel	mg/L	2,76 ± 0,74	0,0053 ± 0,00751	> 99,8%	96 – 99
Sílica	mg/L	5,70 ± 1,4	1,0	>83,3%	92 – 95
Bário	mg/L	0,031± 0,025	0,01	>71,8%	S.R.
Sódio	mg/L	597,7 ± 4,2	30,9 ± 11,7	94,8%	92 – 98
Alumínio	mg/L	0,147 ± 0,020	0,01	>93,2%	96 – 98
Colif Tot.	NMP/100ml	1,0	<1,0	>99,9%	S.R.
Colif Fec.	NMP/100ml	1,3	<1,0	>99,9%	S.R.
Cor	Hz	333,3 ± 57,7	0	100%	90 – 96(**)

FONTE: AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇAO FORAM OBTIDAS NA LITERATURA DE KUCERA (2010), SENDO ESTAS AS CAPACIDADES DE REJEIÇAO OBTIDAS PELA MAIORIA DAS MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA EM SISTEMAS DE OR, A UMA TEMPERATURA AMBIENTE.

LEGENDA: (*) Estas eficiências foram fornecidas por Whitley Burchett & Associados (1999) adaptado por Metcalf & Eddy (2004), referente a operação de sistema de OR na Estaçao de Tratamento Sanitário de Dublin-San Ramon, no período de 4/1999 a 12/1999. (**) Eficiência extraída do trabalho de Ushikoshi et al. (2002) sobre sistema de OR para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.E.R. (Eficiência Remoção); E.R.Lit. (Eficiência de Remoção na Literatura); N.A. (Não avaliado), S.R. (Sem referência).

Durante estes testes a água de alimentação apresentou valores de COT em torno de 27,43 mg/L indicando igualmente a presença de compostos orgânicos na água e da propensão de formação de fouling por microorganismos.

A redução de cor, como no trabalho de Sridhar *et al.* (2002) apresentou mais uma vez redução de 100%. Porém seu valor na água de alimentação esta aproximadamente 110 vezes acima do limite recomendado, o que possivelmente contribui para formação de *fouling*, uma vez que os compostos orgânicos responsáveis pela sua formação tem característica de serem adsorvidos por membranas de poliamida (FILMTEC, 2010).

FIGURA 37 - EFLUENTE ANTERIOR AO TRATAMENTO POR OR E OS DESCARTES PERMEADO E REJEITO GERADAS APÓS O PROCESSO.

LEGENDA: Da esquerda para direita, efluente bruto após sistema de MBR, permeado e rejeito. A cor do efluente bruto e do rejeito neste dia correspondem a 400 e 1600 Hz respectivamente, com uma eficiência de remoção de 100% e concentração de cor no rejeito de 75,0%.

A cor do efluente bruto nos testes 1, 2 e 3 foram 400, 300 e 300 Hz respectivamente enquanto que do rejeito foram 1600, 1100 e 1200 Hz. Portanto o rejeito apresentou-se em torno de 4 vezes mais concentrado em termos de cor nos três testes sob esta condição de operação. A Figura 37 mostra o aspecto visual dos três pontos de coleta analisados durante este trabalho.

A presença dos metais pesados ferro, manganês, alumínio, bário, níquel e zinco também foram detectadas na água de alimentação e, com exceção do bário, todos apresentaram valores acima de 0,05 ppm, que consiste no valor recomendado como sendo o ideal para evitar a formação de *fouling* ou degradação da membrana. (KUCERA, 2010).

Os valores de dureza e alcalinidade indicam uma grande presença de compostos de cálcio. Os Índice de Langelier para estas águas foram 2,13, 1,53 e 1,14 respectivamente para os testes 1, 2 e 3, caracterizando novamente o efluente tratado pelo MBR como sendo de grande potencial para formação de *scaling*.

Quanto ao rejeito foram feitas apenas análises de DQO e suas concentrações para os testes 1, 2 e 3 respectivamente foram de 960 mg/L, 1248 mg/L e 1030 mg/L, apresentando um taxa de concentração média de 5,8 com relação ao efluente bruto.

5.1.2.3 Taxa de Recuperação de 75%

Na Condição 3 a taxa de recuperação de água estabelecida foi de 75%. Os resultados de pH, temperatura, condutividade, STD e turbidez são mostrados na Tabela 13.

Os valores de pH apresentaram pouca variação durante os processos de filtração. Nos três testes realizados sob esta terceira condição o pH apresentou redução nas amostras de permeado e aumento nas amostras de rejeito, com exceção do teste 1. A redução média de pH no permeado foi de 7,5% no teste 1, 8,7% no teste 2 e 4,8% no teste 3. Nas amostras de rejeito o teste 1 apresentou uma queda de 1,0% no valor de pH com relação a água de alimentação, o qual pode ter sido ocasionada por algum outro composto de caráter ácido que foi removido pelo sistema prevalecendo sobre os compostos alcalinos desta corrente. Nos testes 2 e 3 respectivamente o aumento de pH foi de 0,2% e 1,9 %.

A temperatura também apresentou pequena variação durante a operação da OR, sendo os valores durante o período de 120 minutos bem próximos um do outro. No teste 1 o permeado aumentou em torno de 2,5℃ na amostra de permeado e 4,5℃ na amostra de rejeito. No teste 2 este aumento foi de 1,8℃ tanto no permeado quanto no rejeito. E por fim o teste 3, que apresentou amostras de permeado e rejeito com uma elevação na temperatura de 1,4℃ e 1,7℃ respectivamente.

Nos três testes a condutividade e os STD também apresentaram valores bem baixos nas amostras de permeado e concentrações em torno de 3,9 vezes maiores que as apresentadas da água da alimentação no teste 1, 2,8 vezes no teste 2 e 3,4 vezes no teste 3. Da mesma forma que nos testes anteriores, observa-se uma maior quantidade de sais na corrente de permeado durante os períodos de 15 a 30 minutos, indicando mais uma vez uma menor eficiência de remoção no inicio do processo devido a polarização de constituintes. Após este período a taxa de remoção se torna praticamente constante.

TABELA 13 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR.

	Parâmetros				
Tempo (min)	**Ph**	**Temp (ºC)**	**Cond. (µs/cm)**	**STD (mg/L)**	**Turbidez (NTU)**
			TESTE 1		
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,93	21,00	3350	1700	0,45
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	7,99	23,30	170,6	81	0,13
30	8,22	23,80	160,2	76	0,13
60	8,22	23,90	159,2	75	0,11
90	8,23	23,60	157,5	75	0,11
120	8,67	23,90	160,0	76	0,12
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,76	25,10	11610	6450	0,72
30	8,87	25,40	11600	6450	0,72
60	8,88	25,30	11900	6650	0,70
90	9,00	25,60	12000	6680	0,71
120	8,71	26,30	12120	6780	0,71
			TESTE 2		
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,05	21,40	4930	2570	0,61
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	7,75	23,00	251	120	0,13
30	7,03	22,50	246	117	0,09
60	7,42	22,70	240	114	0,10
90	7,24	23,60	234	111	0,18
120	7,32	24,30	236	112	0,16
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,06	22,50	12710	7110	0,77
30	7,95	22,10	12770	7150	0,79
60	8,00	24,20	12770	7140	0,82
90	8,10	23,90	12760	7140	0,83
120	8,30	23,40	12760	7140	0,81
			TESTE 3		
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,3	16,40	4850	2510	0,62
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	7,97	17,10	358	171	0,14
30	8,0	17,40	351	168	0,12
60	7,98	18,20	346	166	0,14
90	7,65	18,00	341	163	0,09
120	7,89	18,50	339	162	0,09
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,41	17,30	14830	8370	0,93
30	8,43	17,50	14910	8430	0,93
60	8,44	18,50	15111	8540	0,77
90	8,50	18,30	15100	8530	0,76
120	8,51	18,80	15190	8550	0,82

A redução média da condutividade nos testes 1, 2 e 3 respectivamente foi de 95,2%, 95,1% e 93,8% enquanto que o rejeito apresentou uma aumento de 71,7%, 61,3% e 67,7%. Com relação aos STD as amostras de permeado apresentaram uma taxa de remoção de 95,5% nos testes 1 e 2 e 93,4% no teste 3 enquanto o rejeito apresentou um aumento de concentração de 73,3%, 78,4% e 81,3%. sendo sua remoção menor nos primeiros 30 minutos de operação, uma vez que uma maior

quantidade de sais é observada nos três testes nas amostras de permeado durante este período. A menor eficiência no teste 3 quando comparado, principalmente com o teste 2, o qual apresenta um efluente bruto praticamente com a mesma salinidade que a apresentada neste dia, indica que a baixa temperatura pode ter influenciado no fluxo e na eficiência do processo. Segundo Kucera (2010), quanto menor a temperatura, maior será a passagem de soluto para a corrente de permeado e menor será o fluxo por entre a membrana, o que se confirma ao comparar ambos os testes.

A turbidez também apresentou queda na amostra de permeado e aumento na amostra de rejeito com pouca variação de seus valores durante o processo de filtração. Uma vez que, inclusive na amostra de rejeito, que apresenta em geral todos os compostos em maior concentração que nos outros 2 pontos analisados, foi observado valor de turbidez menor que 1 NTU, este parâmetro novamente encontra-se dentro de limite recomendado pelo fabricante.

As Figuras 38 e 39 mostram a variação da condutividade e STD durante a filtração.

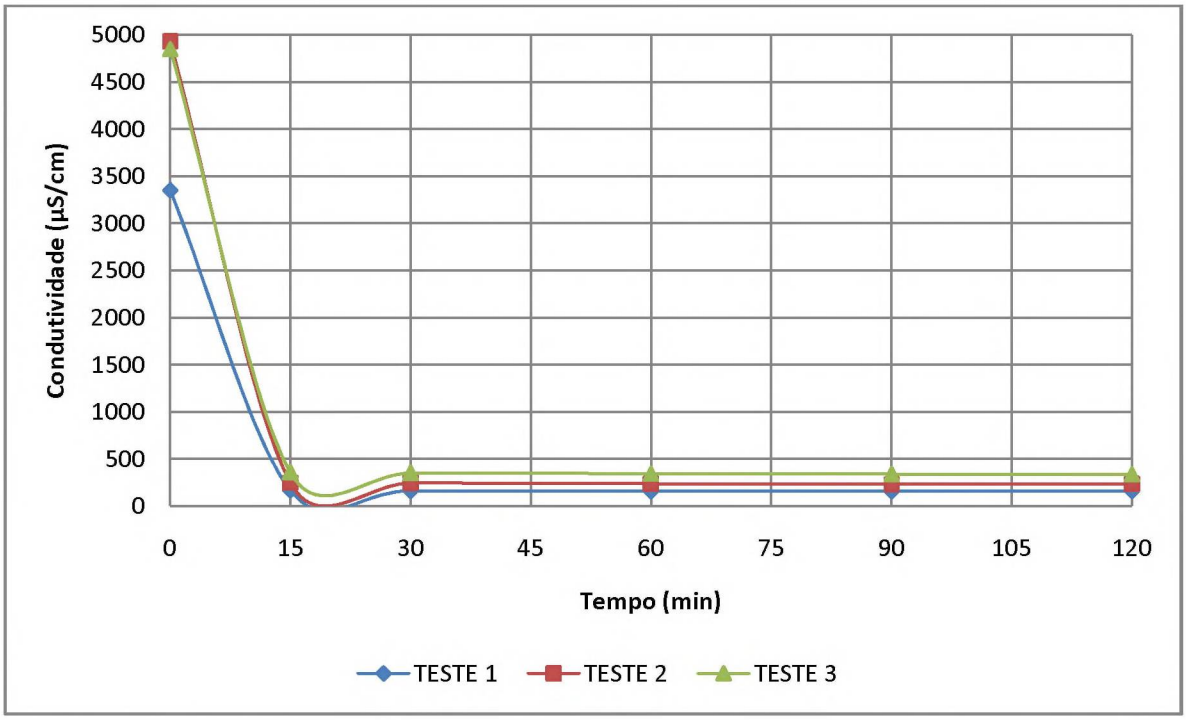


FIGURA 38 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%.

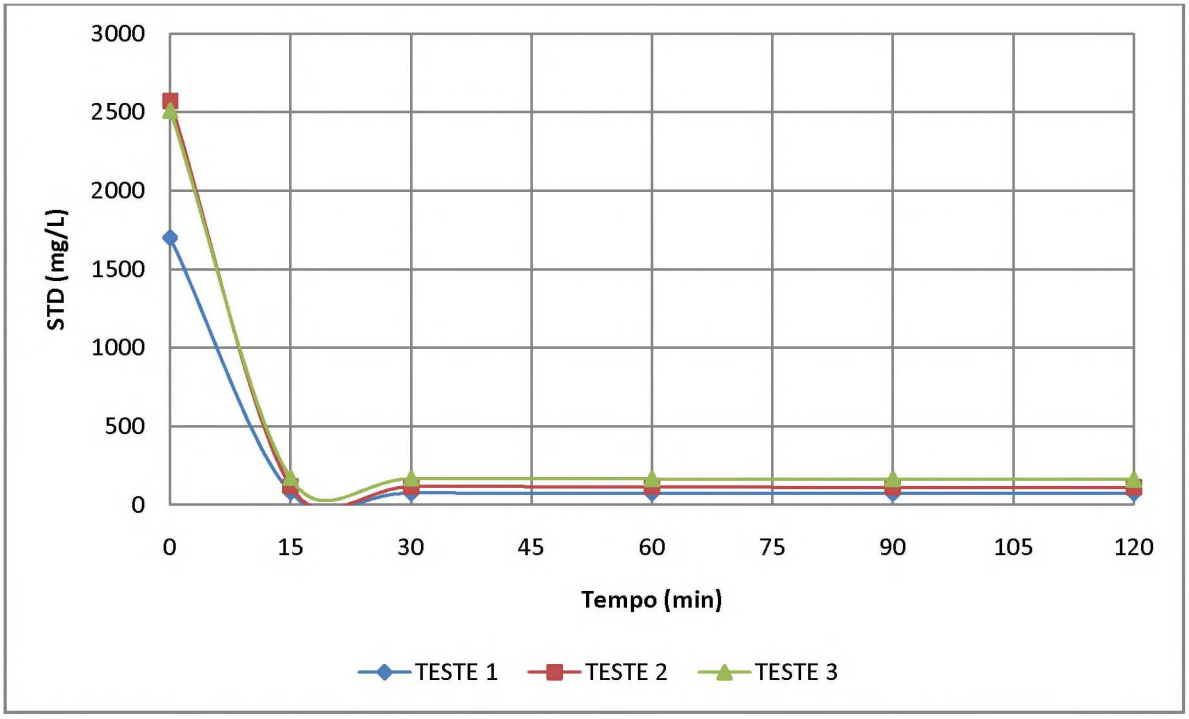


FIGURA 39 - VARIAÇAO DOS STD NO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%.

As vazões do permeado e do rejeito apresentaram queda em todos os testes. No teste 1 a vazão de permeado e de rejeito apresentaram queda de 34,0 L/h após 45 minutos de filtração e se mantiveram constante até a finalização do período de 120 minutos. No teste 2 dois a vazão de permeado teve uma queda de 7,6% de sua vazão a partir do tempo de 45 minutos e depois manteve-se constante durante o período restante, enquanto que a corrente de rejeito apresentou apenas uma queda pontual a qual foi reestabelecida no decorrer do processo. O teste 3 já iniciou com uma vazão de entrada menor que os anteriores, de 749,4 L/h. Neste teste a vazão de entrada reduziu para 726,7 L/h nos primeiros 60 minutos e 704,0 L/h no período restante, totalizando uma queda de vazão de 6%. A queda nas vazões de permeado nos testes 1, 2 e 3 foram respectivamente de 1,87%, 7,1% e 4,2%. Estes valores são mostrados na Tabela 14.

As Figuras 40 e 41 mostra a variação das vazões de permeado e vazão total do sistema ao longo do processo de filtração.

TABELA 14 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%

Tempo (min)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)
	TESTE 1		TESTE 2		TESTE 3	
AMOSTRA DE PERMEADO						
0	601,8	72,60%	635,9	75,68%	545,0	72,73%
15	601,8	72,60%	590,5	76,47%	545,0	72,73%
30	590,5	72,22%	601,8	74,65%	545,0	75,00%
45	590,5	74,29%	590,5	74,29%	545,0	75,00%
60	590,5	74,29%	590,5	74,29%	545,0	75,00%
75	590,5	74,29%	590,5	74,29%	522,3	74,19%
90	590,5	74,29%	590,5	74,29%	522,3	74,19%
105	590,5	74,29%	590,5	74,29%	522,3	74,19%
120	590,5	74,29%	590,5	74,29%	522,3	74,19%
AMOSTRA DE REJEITO						
0	227,1	27,40%	204,4	24,32%	204,4	27,27%
15	227,1	27,40%	181,7	23,53%	204,4	27,27%
30	227,1	27,78%	204,4	25,35%	181,7	25,00%
45	204,4	25,71%	204,4	25,71%	181,7	25,00%
60	204,4	25,71%	204,4	25,71%	181,7	25,00%
75	204,4	25,71%	204,4	25,71%	181,7	25,81%
90	204,4	25,71%	204,4	25,71%	181,7	25,81%
105	204,4	25,71%	204,4	25,71%	181,7	25,81%
120	204,4	25,71%	204,4	25,71%	181,7	25,81%

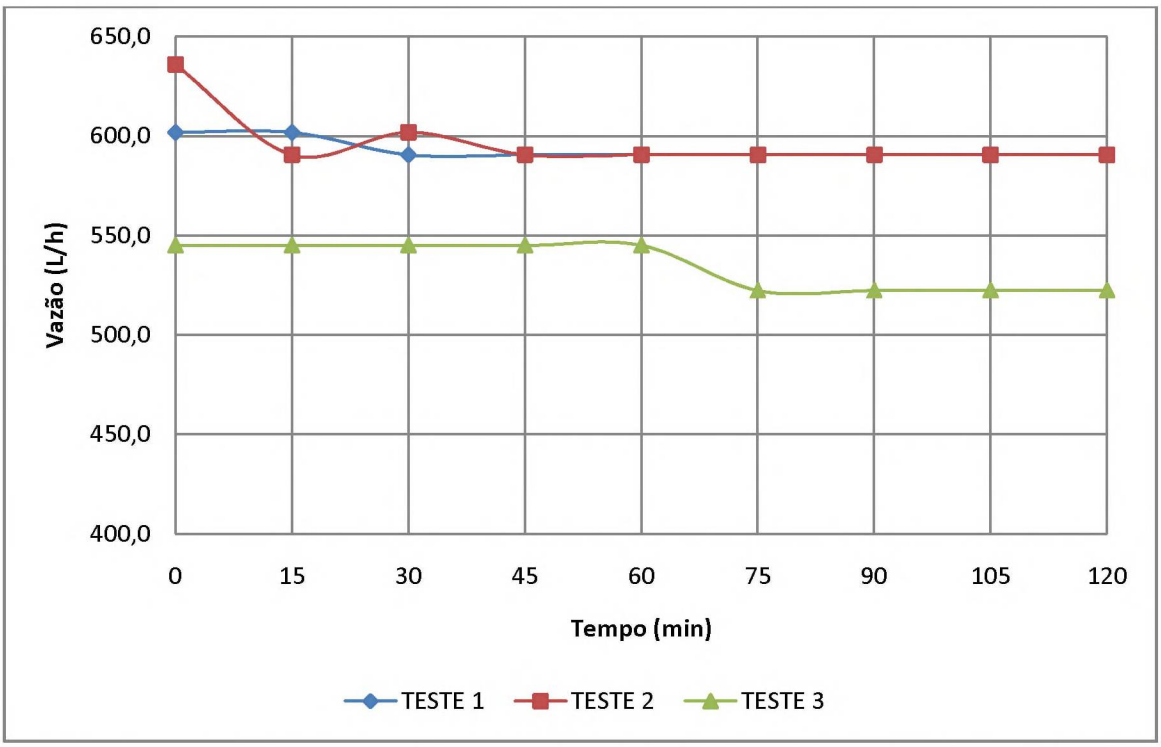


FIGURA 40 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 75%.

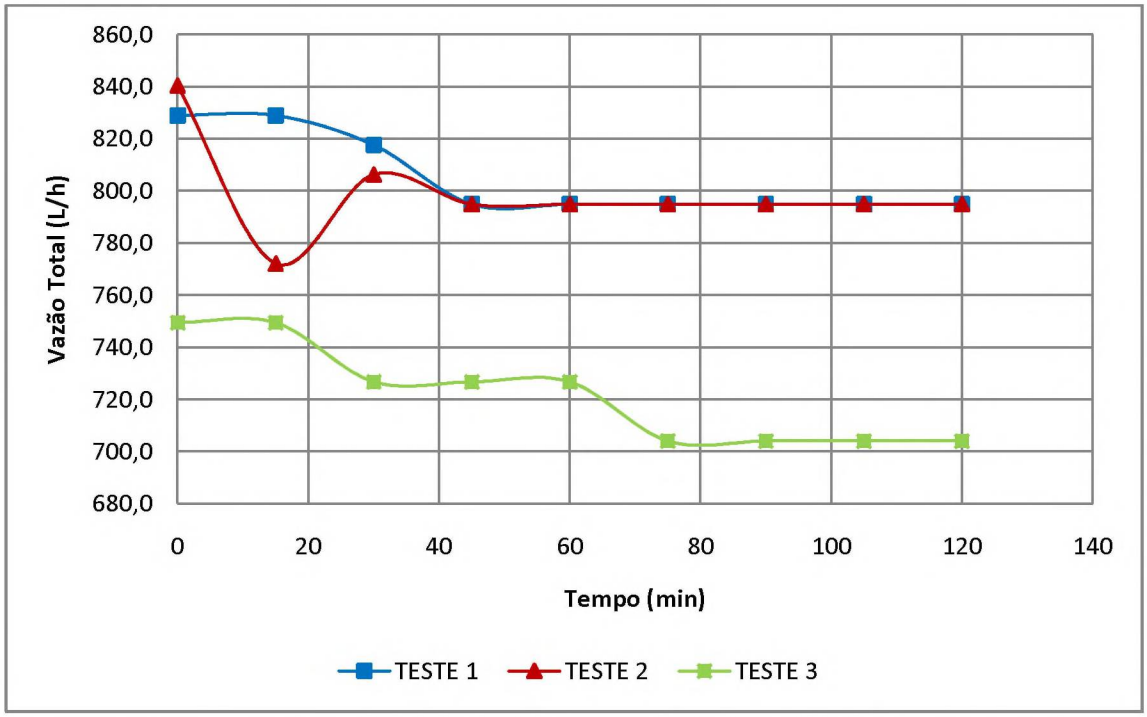


FIGURA 41 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 75%.

A Tabela 15 mostra as pressões de entrada e saída da unidade piloto. Os testes 2 e 3 já apresentaram valores maiores de variação de pressão porém isto é esperado. Quanto maior a taxa de recuperação mais restrita é a corrente de rejeito, implicando em um incremento em sua pressão. A pressão de entrada em ambos estes testes manteve-se constante. Porém no teste 3 a pressão de entrada decaiu. Consequentemente, a vazão também sofreu uma queda, como visto na Tabela 14. Portanto, provavelmente a lavagem química realizada após o teste executado anteriormente a este tenha sido ineficaz. Desta forma alguns compostos permaneceram sob a membrana impedindo a passagem por alguns poros, causando assim queda na vazão e na pressão de entrada.

TABELA 15 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)
	Entrada	Saída	PS - PE	Entrada	Saída	PS - PE	Entrada	Saída	PS - PE
	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
0	20,0	20,75	0,75	20,0	21,25	1,25	19,625	20,75	1,125
15	20,0	20,75	0,75	20,0	21,75	1,75	19,5	20,75	1,25
30	20,0	20,75	0,75	20,0	21,0	1,0	19,5	20,75	1,25
45	20,0	20,75	0,75	20,0	21,0	1,0	19,5	20,75	1,25
60	20,0	20,75	0,75	20,0	21,0	1,0	19,5	20,75	1,25
75	20,0	20,75	0,75	20,0	21,0	1,0	19,5	20,75	1,25
90	20,0	20,75	0,75	20,0	21,0	1,0	19,5	20,75	1,25
105	20,0	20,75	0,75	20,0	21,0	1,0	19,5	20,625	1,125
120	20,0	20,75	0,75	20,0	21,0	1,0	19,5	20,625	1,125

O resultado das análises físico químicas são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS PARA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO 03.

Parâmetros	Unidade	Bruto	Permeado	E.R. (%)	E.R Lit. (%)
DQO	mg/L	150,0 ± 88,3	24,2 ± 11,5	80,0%	85 – 95(*)
DBO	mg/L	21,3 ± 7,76	1,70 ± 0,577	90,0%	75 – 90(*)
Fosfato	µg/L	0,28 ± 0,27	0,03 ± 0,0019	92,0%	96 – 98
Nitrato	mg/L	293,47 ± 88,74	24,33 ± 10,15	92,0%	65 – 85(*)
Cloreto	mg/L	571,7 ± 77,7	9,2 ± 1,509	98,4%	92 – 98
Dureza	mg/L	734,7 ± 1,10	1,10 ± 1,27	100,0%	93 – 99
Alcalinidade	mg/L	361,08 ± 39,34	18,13 ± 2,678	95,0%	96 - 99
COT	mg/L	20,37 ± 8,73	0,930 ± 0,267	95,0%	85 – 95(*)
SST	mg/L	0	0	100,0%	95 – 100(*)
Amônia	mg/L	4,05 ± 3,80	0,77 ± 0,336	81,0%	90 – 98
Ferro	mg/L	4,003 ± 2,13	0,007 ± 0,109	>99,8%	96 – 98
Manganês	mg/L	0,341 ± 0,11	0,001	>99,7%	96 – 98
Zinco	mg/L	0,777 ± 0,419	0,001	>99,9%	96 – 98
Níquel	mg/L	3,240 ± 0,327	0,001	>99,9%	96 – 99
Sílica	mg/L	5,30 ± 2,08	1,0	>81,2%	92 – 95
Bário	mg/L	0,040 ± 0,007	0,01	>74,7%	S.R.
Sódio	mg/L	516,7 ± 242,20	35,8 ± 8,919	90,0%	92 – 98
Alumínio	mg/L	0,190 ± 0,124	0,01	>94,7%	96 – 98
Colif Tot.	NMP/100ml	1	< 1	100,0%	S.R.
Colif Fec.	NMP/100ml	4,1	< 1	100,0%	S.R.
Cor	Hz	216,7 ± 144,3	0	100,0%	90 – 96(**)

FONTE: AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇAO FORAM OBTIDAS NA LITERATURA DE KUCERA (2010), SENDO ESTAS AS CAPACIDADES DE REJEIÇAO OBTIDAS PELA MAIORIA DAS MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA EM SISTEMAS DE OR, A UMA TEMPERATURA AMBIENTE.

LEGENDA: (*) Estas eficiências foram fornecidas por Whitley Burchett & Associados (1999) adaptado por Metcalf & Eddy (2004), referente a operação de sistema de OR na Estação de Tratamento

Sanitário de Dublin-San Ramon, no período de 4/1999 a 12/1999. (**) Eficiência extraída do trabalho de Ushikoshi et al. (2002) sobre sistema de OR para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.E.R. (Eficiência Remoção); E.R.Lit. (Eficiência de Remoção na Literatura); N.A. (Não avaliado), S.R. (Sem referência).

Ao analisar a qualidade do permeado observa-se que as remoções foram satisfatórias, atingindo valores entre 80% a 100% de remoção.

A DQO apresentou valores em média abaixo de 24,2 mg/L com taxa de remoção igual a 80,0%.

A tendência ao *fouling* biológico devido a qualidade da água tratada pelo MBR novamente é verificada nestes testes, uma vez que os valores de COT apresentaram-se em torno de 20,37 mg/L.

O permeado se apresentou mais uma vez incolor, porém o valor de cor está aproximadamente 98,6% maior que o limite recomendado, segundo Kucera, 2010 e, possivelmente irá contribuir para formação de *fouling*.

A presença dos metais pesados ferro, manganês, alumínio, bário, níquel e zinco também foram detectadas na água de alimentação e, mais uma vez, com exceção do bário, todos apresentaram valores acima de 0,05 ppm.

Os Índice de Langelier para estas águas foram 2,23, 1,44 e 1,38 respectivamente para os testes 1, 2 e 3 comprovando novamente a grande tendência ao *scaling* do efluente tratado pelo MBR.

Quanto ao rejeito foram feitas apenas análises de DQO e suas concentrações para os testes 1, 2 e 3 respectivamente foram de 832 mg/L, 1133 mg/L e 1193 mg/L, apresentando um taxa de concentração média de 8,2 com relação ao efluente bruto.

Nesta condição o aspecto do efluente bruto, permeado e rejeito podem ser observados na Figura 42. Neste dia de operação o efluente bruto apresentou cor de 50 Hz e o rejeito de 600 Hz, estando portanto 91,67% mais concentrado do que o efluente bruto. Considerando os outros testes operados a esta mesma condição, esta percentual manteve-se em torno de 84,0%, ou seja, superior às condições de operação com recuperação de permeado de 50 e 65%, conforme esperado. O permeado novamente apresentou-se cristalino isento de cor em todos os testes.

Com taxa de recuperação de 75% o rejeito apresenta-se ainda mais concentrado. A cor do efluente bruto nos testes 1, 2 e 3 foram 50, 300 e 300 Hz respectivamente enquanto que do rejeito foram 600, 1600 e 1400 Hz. Sendo assim o rejeito do teste 1 apresentou um aumento de 91,6% de cor comparado com e

efluente bruto. O teste 2 apresentou um rejeito com a cor 81,2% mais concentrada e o teste 3 com 79,3% de aumento. O permeado novamente mostrou-se incolor em todos os testes com uma taxa de remoção de 100%.

FIGURA 42 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE BRUTO GERADO PELO SISTEMA DE MBR, PERMEADO E REJEITO.

LEGENDA: Da esquerda para direita, efluente bruto após sistema de MBR, permeado e rejeito. A cor do efluente bruto e do rejeito neste dia correspondem a 50 e 600 Hz respectivamente, com uma eficiência de remoção de 100% e concentração de cor no rejeito de 75,0%.

5.2 COMPARAÇAO DOS EFLUENTES APÓS TRATAMENTO POR MBR

Ao comparar as análises físico-químicas das águas obtidas nos tratamento com taxa de remoção de 50%, 65% e 75%, se observa que todas as águas geradas atendem aos padrões de lançamento conforme Resolução N°357 do CONAMA, inclusive aos padrões de DQO e DBO necessários que a empresa atinja, que são de 300 mg/L e 50 mg/L respectivamente. Os parâmetros da água tratada, inclusive, atendem à padrões de reuso, permitindo que esta água seja aplicada internamente na indústria em torres de resfriamento, lavagem de pisos, lavagem de caminhões, descargas de sanitários, irrigação dos jardins. A qualidade da água de todos os testes são apresentadas nos Apêndices A,B e C.

Porém, outros pontos devem ser analisados de modo a definir a taxa de recuperação mais adequada para se trabalhar.

Um dos maiores impactos desta escolha consiste no volume de rejeito produzido e no seu fator de concentração. Enquanto a operação com taxa de recuperação de 50% produz um descarte com fator de concentração em torno de 2, ½ da água de alimentação é descartada como sendo rejeito. Já ao aplicarmos a taxa de recuperação de 75%, apenas ¼ do volume da água de alimentação é descartado, porém o fator de concentração deste rejeito foi de aproximadamente 4. Além disso, taxas de recuperação elevadas só são recomendadas quando a água de alimentação apresenta baixas concentrações de compostos que podem incrustar na membrana, caso contrário, quanto maior a taxa de recuperação, maior o potencial de formação de *scaling* (KUCERA, 2010).

As Figuras 43 e 44 mostram a variação dos STD e da condutividade durante a filtração. Em todos os testes ambos os parâmetros apresentaram queda, porém, ao analisar os valores dos Quadros nos Apêndices D e E, percebe-se que há queda na eficiência de remoção com o aumento da taxa de recuperação. A redução média de condutividade foram respectivamente de 96,86%, 95,14% e 92,99% para os testes com 50%, 65% e 75% respectivamente de taxas de recuperação. Com relação a remoção de sais estes valores são: 96,57% para os testes com taxa de recuperação de 50%, 94,65% para taxa de 65% e 92,54 para de 75%. Portanto houve uma queda de eficiência em torno de 4,0% dos teste com taxa de recuperação de 50% para os testes com taxa de 75%.

Portanto, quanto maior a taxa de recuperação, menor é a qualidade do permeado obtido, uma vez que a passagem de sal para esta corrente é maior.

A variação de vazão obtida com longo da filtração também corresponde a um parâmetro importante que deve ser analisado..

Uma vez que a pressão de entrada deste estudo foi mantida constante para todas as condições de trabalho, observou-se que à medida que a taxa de recuperação aumentou, a vazão total do sistema reduziu. No teste com taxa de recuperação de 50% a vazão total foi em torno de 1201m³/h. Esta vazão reduziu em torno de 22,2% para o teste com taxa de recuperação de 65% e 35,5% para o teste com taxa de recuperação de 75%. As reduções das vazões de permeado ao longo do processo de filtração foram em média de 1,28% nos testes com taxa de

recuperação de 50%, 1,19% com recuperação de 65% e 4,4% nos teste com 75% de recuperação, indicando que o fluxo pela membrana decresce levemente com o aumento da taxa de recuperação. Porém, nenhuma das operações apresentou uma queda significativamente alta a ponto de necessitar de lavagem química. Os dados de vazão são apresentados no Quadro do Apêndice F.

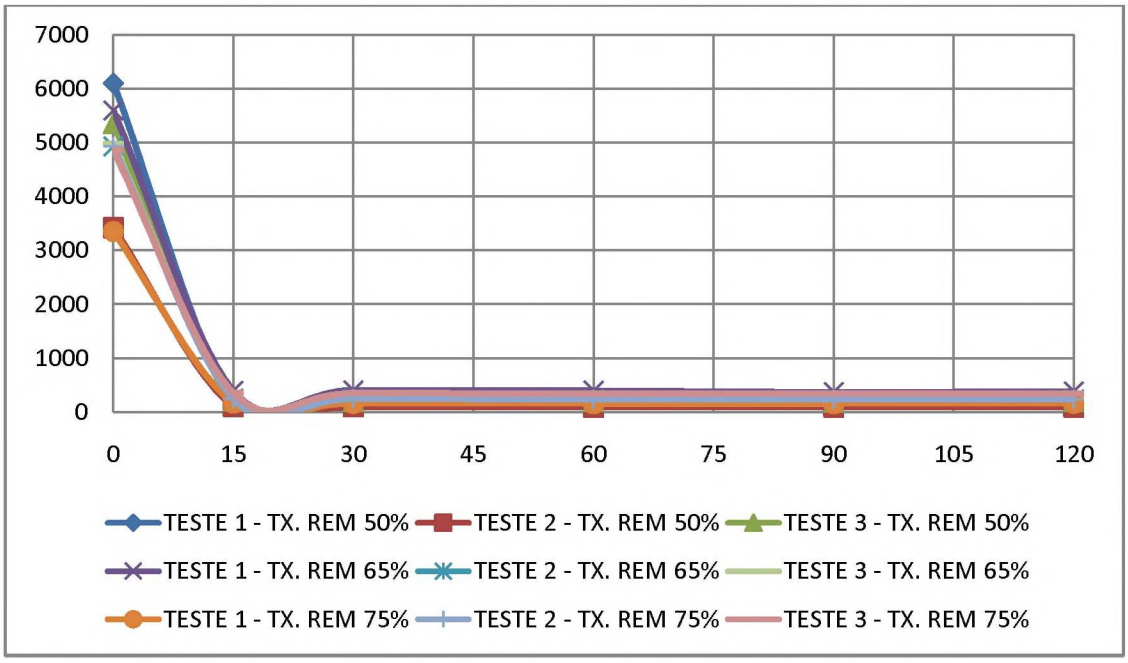


FIGURA 43 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR.

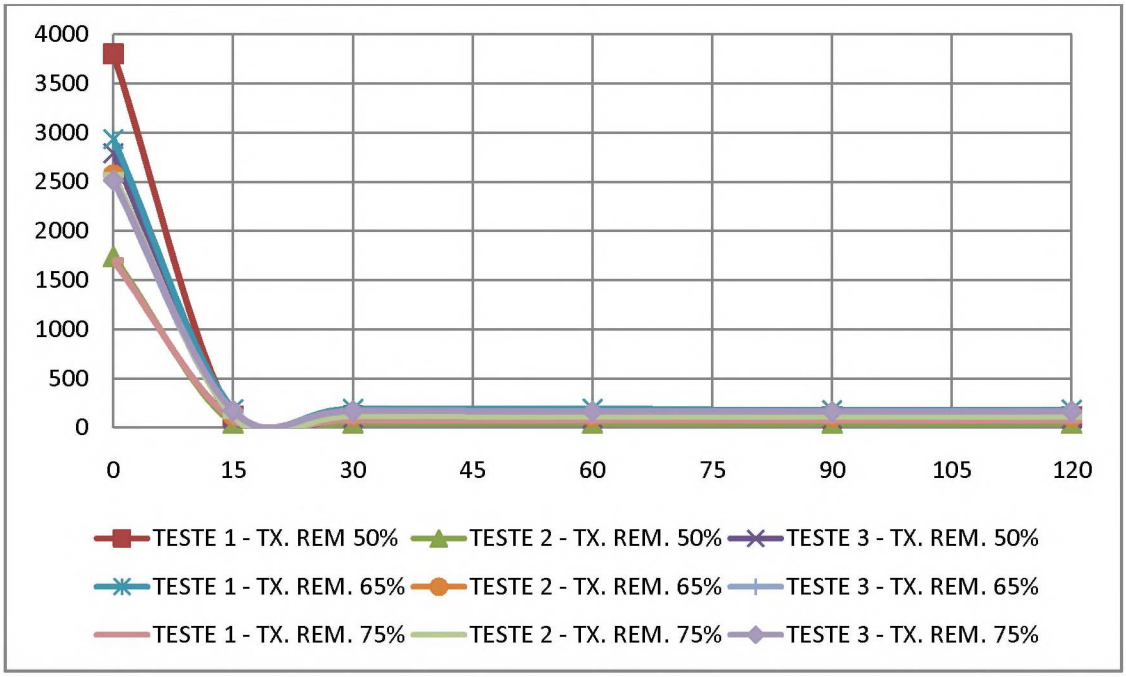


FIGURA 44 - VARIAÇAO DOS STD NO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR.

As Figuras 45 e 46 mostram respectivamente as quedas de vazão de permeado e vazão total do sistema decorrente do aumento das taxas de recuperação.

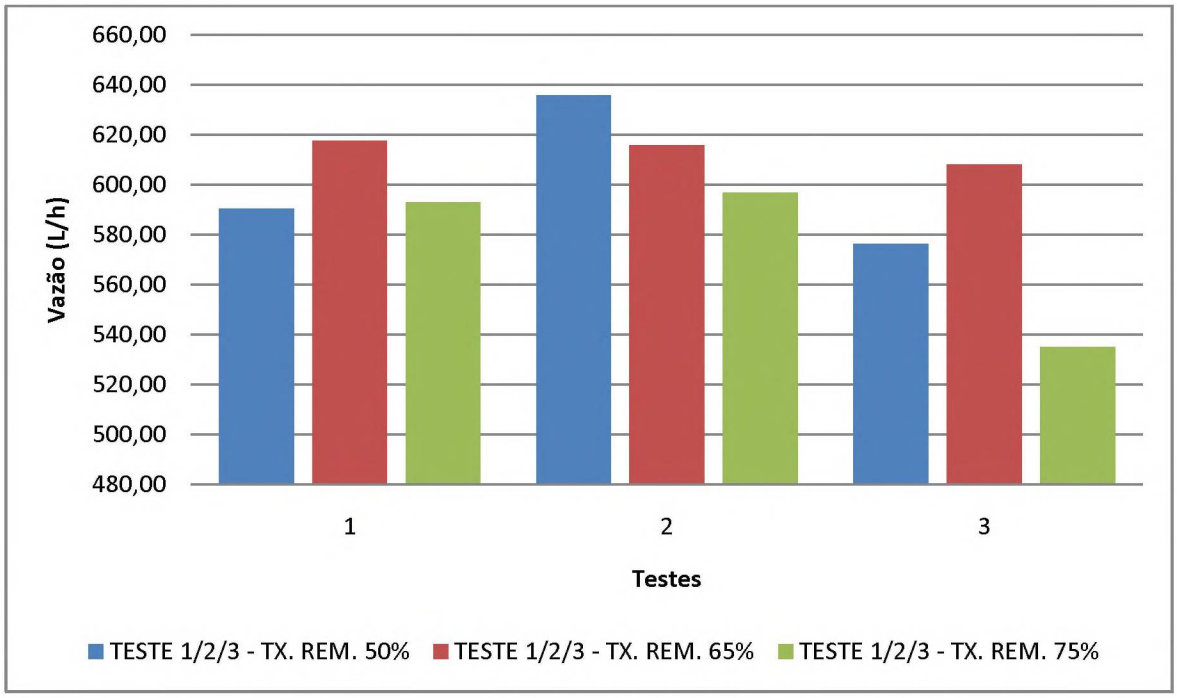


FIGURA 45 - VAZÃO DE PERMEADO OBTIDA EM CADA UM DOS TESTES EFETUADOS COM AS TAXAS DE RECUPERAÇAO DE 50%, 65% E 75%.

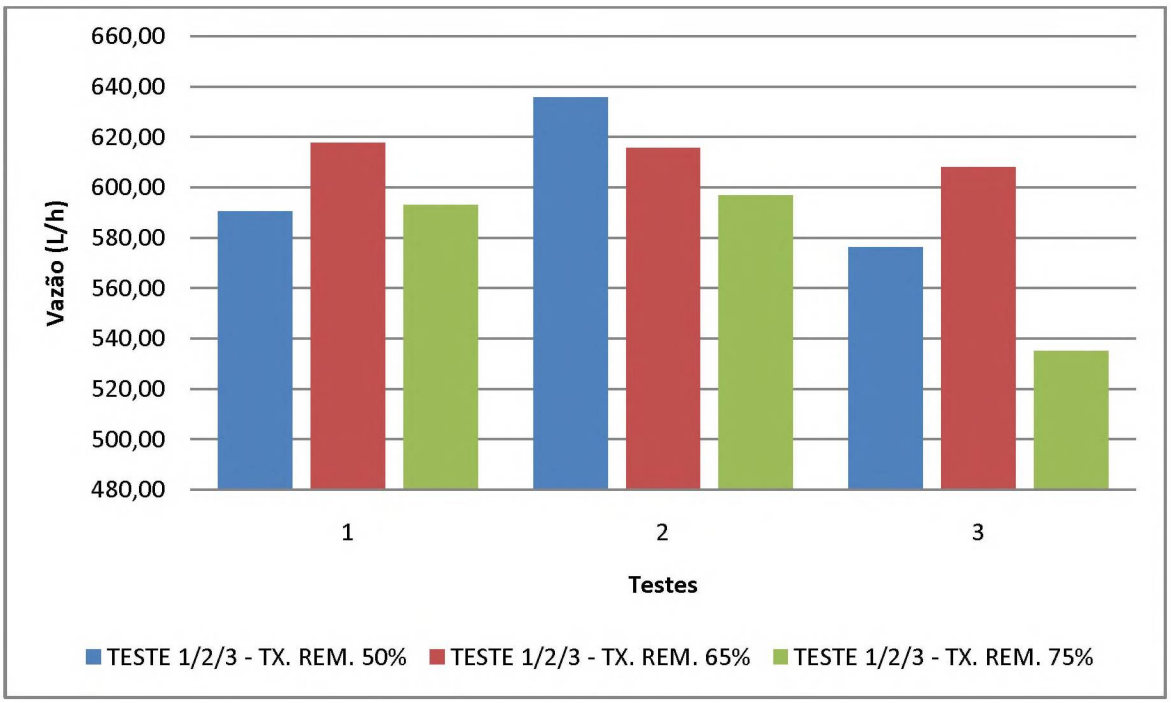


FIGURA 46 - VAZÃO TOTAL DE CADA UM DOS TESTES EFETUADOS COM AS TAXAS DE RECUPERAÇAO DE 50%, 65% E 75%.

Conforme esperado, a cor apresentou valores maiores nos testes realizados sob a condição de 75% de taxa de recuperação, com uma concentração média de cor de 84% quando comparada a cor da água de alimentação. Na seqüência tem-se os testes realizados sob a condição 2, em que os valores de cor do rejeito apresentaram-se em média 74,2% mais concentrados. Por fim os testes realizados sob a condição 1, a qual possui a menor taxa de recuperação e portanto um rejeito menos concentrado, em torno de 43,6%.

Ao analisar o Quadro 22 que apresenta de forma resumida os principais fatores citados que impactam nesta comparação, conclui-se que a taxa de recuperação mais adequada para este tipo de efluente tratado é a de 65%. Ao mesmo tempo que esta adéqua igualmente a água tratada aos padrões de lançamento, com valores de DQO em torno de 30 mg/L, produz um volume de rejeito intermediário comparado aos outros dois casos assim como a concentração deste descarte, o qual apresenta um fator de 3 com relação ao efluente bruto.

Parâmetros	50%	65%	75%
DQG	10,5+-18,18 mg/L	23,8 +- 19,5 mg/L	24,2 +- 11,53 mg/L
Remoção STD	98,86%	95,14%	92,99 %
Queda de vazão	1,25%	1,22%	4,45 %
Variação da pressão	0,13 – 075 kgf/cm^3	0,5 – 0,75 kgf /cm^2	0,76 – 1,25 kgf/cm^2
Volume rejeito produzido	50%	35%	25 %
STD Rejeito	145,80%	163,80%	177,60%

QUADRO 22 - COMPARAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS SOB AS TRÊS DIFERENTES CONDIÇÕES DE TAXA DE RECUPERAÇÃO.
FONTE: O AUTOR

5.3 EFLUENTE TRATADO POR PROCESSO DE LODOS ATIVADOS

5.3.1 Comportamento dos Parâmetros

Como os testes realizados com o efluente tratado pelo MBR, foram impostas as mesmas três diferentes de taxas de recuperação já aplicadas com o intuito de

comparação do desempenho de cada uma destas situações com o efluente tratado pela ETE da empresa.

Durante cada teste foram igualmente coletadas amostras de 3 pontos: (1) água de alimentação, (2) do permeado e (3) do rejeito, sendo estes últimos continuamente monitorados durante as 2 horas de operação.

Primeiramente foram realizados três testes com uma taxa de recuperação igual a 50%. Na sequência a taxa de recuperação adotada foi a de 65% porém, durante o primeiro teste desta segunda condição imposta, foi observada uma queda de 20% da vazão de entrada já nos primeiros 90 minutos de operação, o que inviabilizou a continuidade dos testes subseqüentes e da operação sob a condição 3 a qual seria adotada uma taxa de recuperação de 75%.

5.3.1.1 Taxa de Recuperação de 50%

A primeira condição aplicada possuía uma taxa de recuperação de água de 50%. Os resultados de pH, temperatura, condutividade, STD e turbidez são mostrados na Tabela 17.

O pH apresentou pouca variação nas amostras coletadas durante as duas horas de operação em ambos os pontos monitorados. Nos três testes houve uma redução de seu valor nas amostras de rejeito e permeado, sendo esta queda mais expressiva nesta última. A redução de pH no permeado foi em média de 11,2%, 16,3% e 17,1% respectivamente nos testes 1, 2 e 3 enquanto que nas amostras de rejeito esta queda foi de apenas 1,2% no teste 1, 1,6% no teste 2 e 2,1% no teste 3.

A temperatura apresentou o mesmo comportamento durante os três testes apresentando um aumento na faixa de 21,7℃ a 24,8℃ nas amostras de permeado e 22,2℃ a 25,3℃ nas amostras de rejeito. Mais uma vez esta variação não influenciou o processo de filtração.

Nos três testes a condutividade e os STD apresentaram queda drástica nas amostras de permeado e um fator de concentração de sais de 1,8 concentração da água de alimentação no teste 1, 1,6 no teste 2 e 1,7 no teste 3. A redução média da condutividade nos testes 1, 2 e 3 respectivamente foi de 88,3%, 89,8% e 88,8%

enquanto que o rejeito apresentou em média valores de condutividade 43,1% maiores que a água de alimentação no teste 1, 34,1% no teste 2 e 41,6% no teste 3. Com relação aos STD as amostras de permeado apresentaram uma taxa de remoção de 89,8%, 91,1% e 90,2%, para os testes 1,2 e 3 respectivamente enquanto o rejeito apresentou um aumento de concentração de 144,1%, 135,7% e 142,1%.

Embora as remoções de sais tenham apresentado valores em torno de 90,0%, os três testes apresentam um aumento da passagem de sais pela membrana no decorrer da filtração. Segundo Pervov (1999), a perda na eficiência de remoção é um indicativo da incrustação da membrana e deve ser acompanhada pela queda da vazão de permeado. Portanto o desempenho do sistema quanto ao fluxo e a qualidade da água de alimentação devem ser analisados juntamente.

A turbidez do efluente de alimentação apresentou um valor de 186,0 NTU, o que representa um valor elevadíssimo quando comparado ao limite de 1,0 NTU determinado pelos fabricantes de membrana espirais de OR, indicando a presença elevada de SS nesta água. Além disso, a alta concentração de turbidez nas amostras de rejeito, aliado ao valor médio de 99,9% de remoção obtido nas amostras de permeado, indicam que uma grande parte da parcela de SS presente na água de alimentação apresenta diâmetro menor que 1,0 μm, passando ilesos pelo filtro de cartucho e, portanto, sendo removidos pelas membranas de OR. No teste 1 a concentração média de turbidez na amostra de rejeito foi de 160,86%, no teste 2 de 161,3% e no teste 3 de 110,54%. A presença destes compostos contribui para obstrução dos poros e acúmulo excessivo de partículas sob a superfície das membranas, podendo provocar queda rápida na vazão de permeado, sendo necessária a sua remoção anteriormente ao sistema de OR.

No teste 1 a pressão na linha do filtro de cartucho atingiu um valor máximo de 8,0 mca durante os 120 minutos de operação, indicando a sua ação na remoção das partículas suspensas, não havendo a necessidade de efetuar sua troca, visto que o valor máximo recomendado pelo fabricante é de 10,0 mca. Porém, no teste 2 este valor foi alcançado já nos primeiros 15 minutos de operação. O alto valor de turbidez na amostra de rejeito, no tempo de 15 minutos, indica que neste período houve uma maior passagem de partículas pelo filtro de cartucho as quais foram, então,

removidas pela membrana de OR. O valor de 651 NTU indica uma concentração de sólidos de 250% com relação a água de entrada.

TABELA 17 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR.

Tempo (min)	Parâmetros				
	Ph	Temp (℃)	Cond. (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez(NTU)
TESTE 1					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	7,96	20,20	14350	8040	186
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	6,94	22,30	1594	782	0,11
30	6,84	21,70	1642	805	0,13
60	6,93	21,90	1685	813	0,14
90	6,98	22,10	1726	846	0,14
120	6,76	22,90	1772	870	0,15
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,85	22,70	26300	14900	313,00
30	7,84	22,30	25800	14600	316,00
60	7,91	23,20	24900	14300	301,00
90	7,89	22,20	24700	14200	287,00
120	7,83	22,70	24600	14000	279,00
TESTE 2					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	7,96	20,20	14350	8040	186
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	6,70	23,60	1416	696	0,26
30	6,68	23,60	1402	686	0,14
60	6,68	23,60	1439	703	0,11
90	6,62	23,90	1512	740	0,16
120	6,65	24,10	1566	770	0,15
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,96	23,50	25120	14420	**651**
30	7,83	23,30	25200	14700	181
60	7,79	24,20	25000	14200	216
90	7,79	24,20	24300	13900	214
120	7,78	24,70	24300	13900	237
TESTE 3					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	7,96	20,20	14350	8040	186
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	6,70	24,50	1563	767	0,15
30	6,56	24,70	1547	772	0,09
60	6,59	24,80	1585	779	0,10
90	6,60	24,60	1639	805	0,09
120	6,55	24,70	1669	820	0,13
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,78	25,20	25600	14500	183
30	7,81	25,10	25100	14100	208
60	7,79	25,30	24600	13900	212
90	7,81	25,10	24100	13600	210
120	7,77	25,10	23600	13400	215

As Figuras 47 e 48 mostram a variação da condutividade e STD durante a filtração.

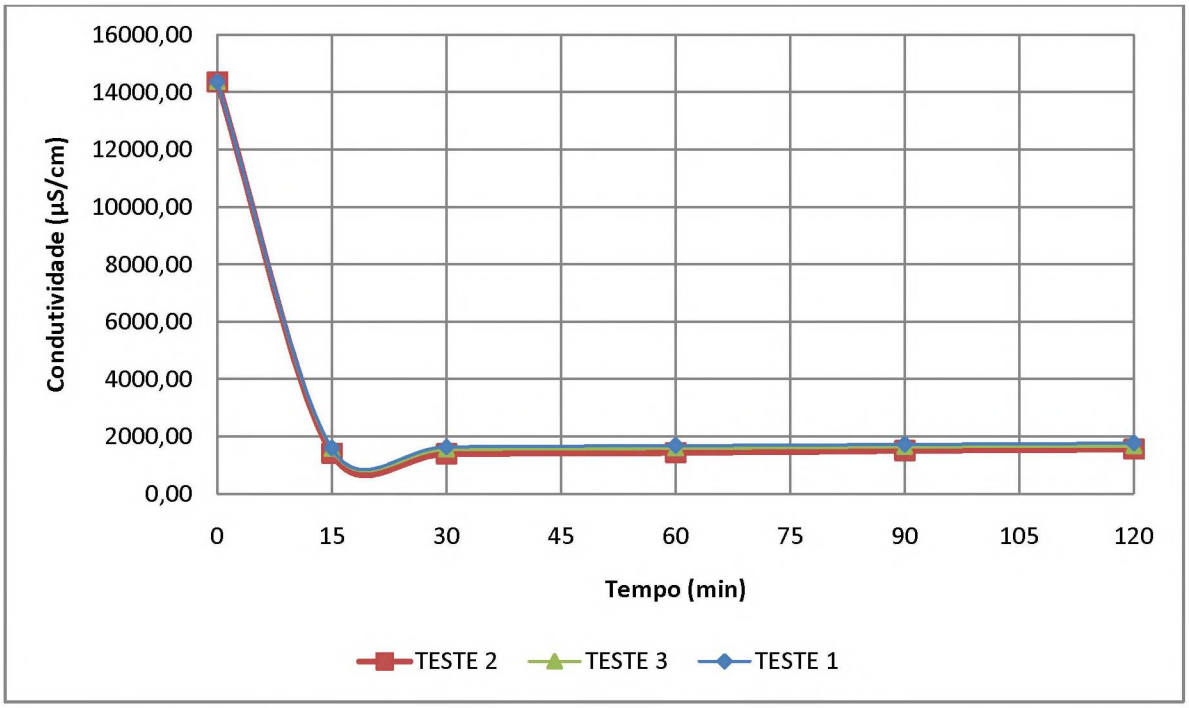


FIGURA 47 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE DO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE REMOÇAO DE 50%.

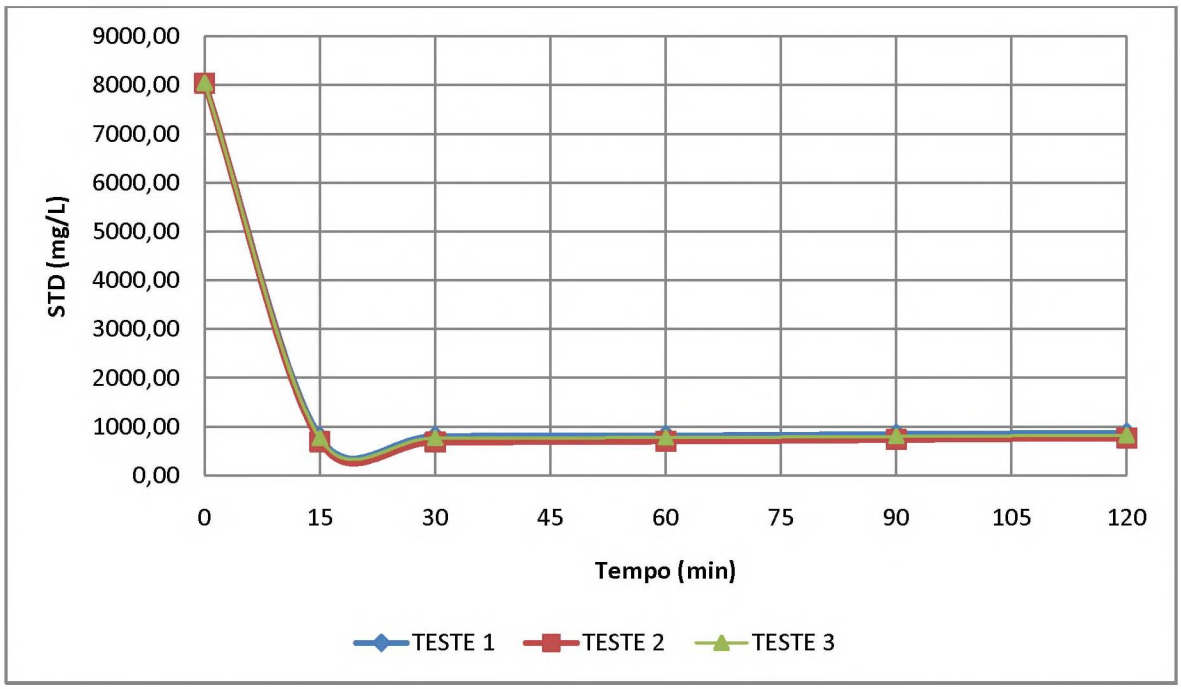


FIGURA 48 - VARIAÇAO DOS STD NO PERMEADO DURANTE OS TESTES COM TAXA DE REMOÇAO DE 50%.

A vazão do permeado e do rejeito apresentaram queda em todos os testes, inclusive perda da capacidade inicial de operação do sistema de um teste para o seu subsequente.

No teste 1 a vazão de entrada apresentou queda total ao longo do processo de filtração de 22,2% passando de 817,7 L/h para 635,9 L/h. Esta queda foi gradativa ao longo da período em que o sistema foi operado atingindo a defasagem de 22,2% no tempo de 120 min. Se a operação tivesse uma duração maior do que este período seria necessária a lavagem química das membranas. No teste 2 a queda na vazão total foi de 14,06%, porém o sistema inicio com uma vazão 11,1% menor que a vazão de entrada do teste 1. No teste 3, por sua vez, a queda na vazão total do sistema foi de 20,31%, sendo a vazão de entrada inicial igual ao teste 2 porém 10,0% menor já nos primeiros 15 minutos de operação.

A Tabela 18 apresenta os valores de vazão obtidos ao longo dos três testes.

TABELA 18 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE OS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%.

Tempo (min)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)	Vazão (L/h)	Taxa Recup. (%)
	TESTE 1		TESTE 2		TESTE 3	
AMOSTRA DE PERMEADO						
0	408,8	50,00%	363,4	50,00%	363,4	50,00%
15	363,4	50,00%	340,7	50,00%	317,9	48,28%
30	363,4	50,00%	363,4	50,00%	295,2	46,43%
45	340,7	48,39%	329,3	47,54%	295,2	46,43%
60	329,3	47,54%	317,9	47,46%	295,2	46,43%
75	317,9	46,67%	317,9	47,46%	272,5	44,44%
90	317,9	48,28%	306,6	46,55%	272,5	44,44%
105	317,9	48,28%	283,9	44,64%	268,0	44,87%
120	295,2	46,43%	283,9	45,45%	249,8	43,14%
AMOSTRAS DE REJEITO						
0	408,8	50,00%	363,4	50,00%	363,4	50,00%
15	363,4	50,00%	340,7	50,00%	340,7	51,72%
30	363,4	50,00%	363,4	50,00%	340,7	53,57%
45	363,4	51,61%	363,4	52,46%	340,7	53,57%
60	363,4	52,46%	352,0	52,54%	340,7	53,57%
75	363,4	53,33%	352,0	52,54%	340,7	55,56%
90	340,7	51,72%	352,0	53,45%	340,7	55,56%
105	340,7	51,72%	352,0	55,36%	329,3	55,13%
120	340,7	53,57%	340,7	54,55%	329,3	56,86%

A Figura 49 mostra a variação das vazões de permeado e a Figura 50 a variação da vazão total do sistema ao longo do processo de filtração.

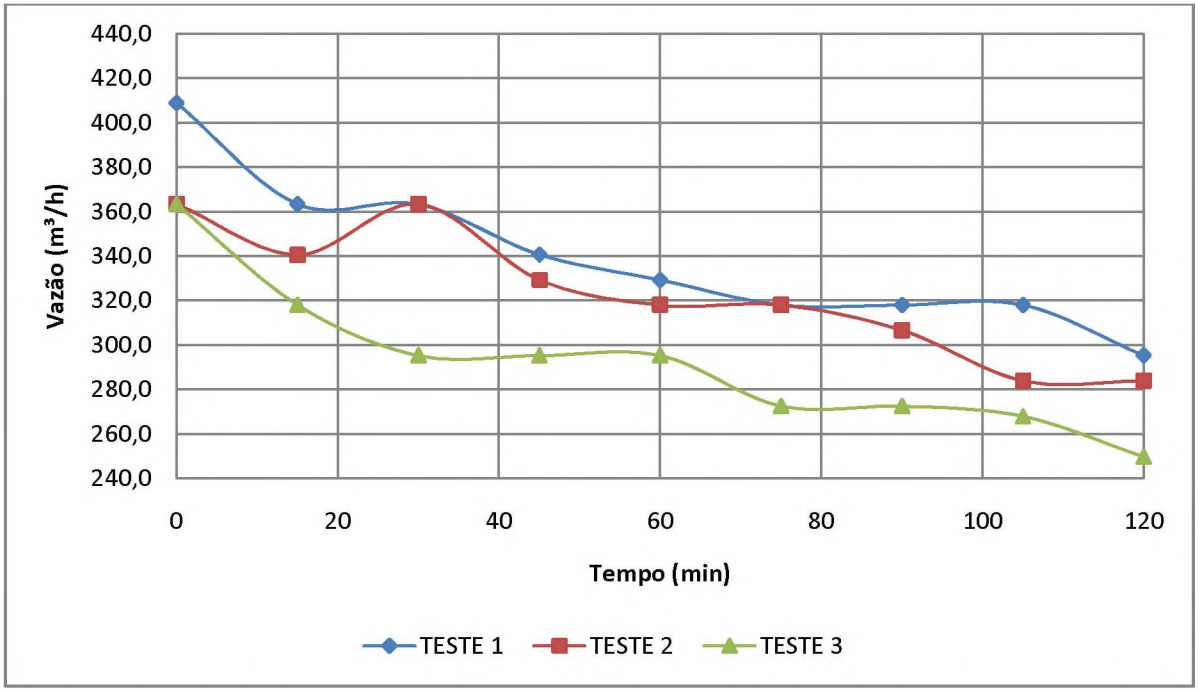


FIGURA 49 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%.

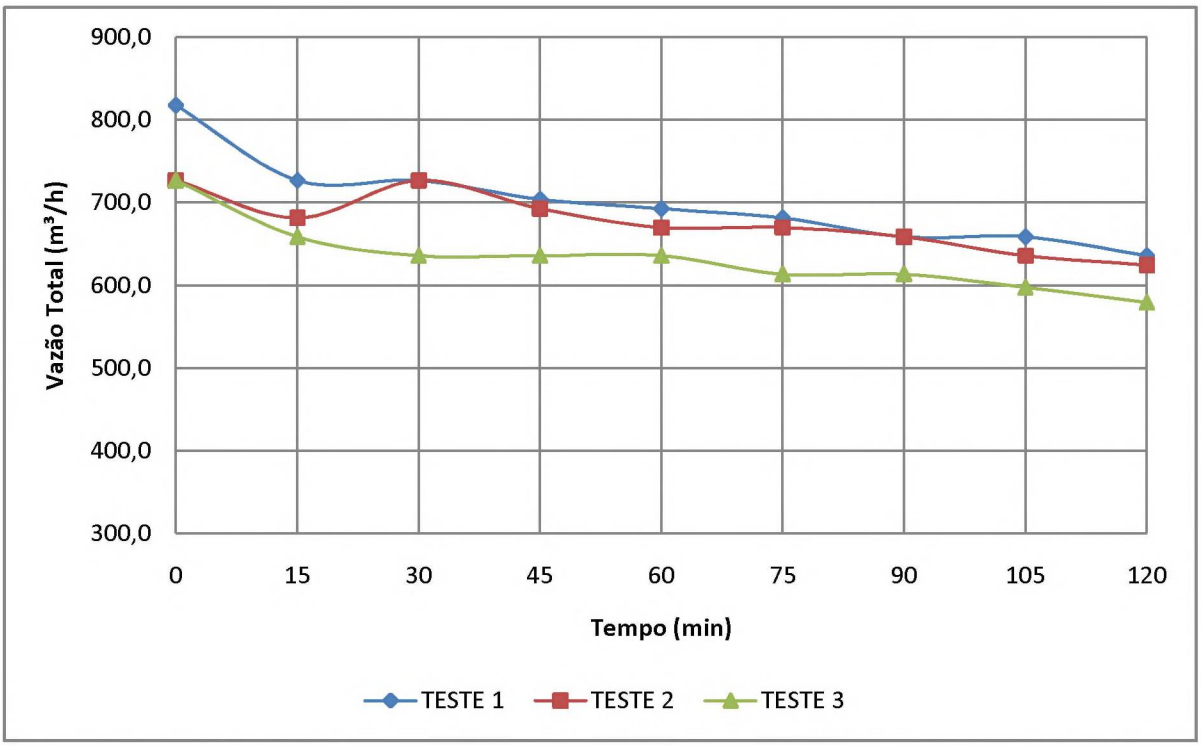


FIGURA 50 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%.

Como em todos os outros testes aplicados, após a operação de duas horas foram realizadas lavagens químicas com solução ácida e alcalina, durante um

período de 20 min para cada solução. Porém, uma vez que os três testes foram realizados sequencialmente, a queda gradual da vazão inicial de um teste para o outro indica que a lavagem química não teve a mesma eficiência que nos testes anteriores e que, provavelmente, a membrana já apresenta um acúmulo de compostos permanente em sua estrutura o qual se apresenta irreversível e não foi dissolvido pelas soluções ácida e básica utilizadas durante a lavagem química.

O acúmulo de sólidos sob a superfície da membrana aumentam a resistência à filtração exigindo assim um incremento da pressão de operação para que esta barreira seja transposta. Porém, quando a pressão de entrada é mantida constante, o indicativo de que a membrana apresenta *fouling* ou *scaling* consiste no aumento do ΔP entre a pressão de permeado e rejeito, conforme mostrado na Tabela 19. Infelizmente na unidade piloto os manômetros são limitados a escala de 21,0 kgf/cm², impossibilitando a identificação de pressões maiores que este valor. Outro ponto negativo da unidade piloto é a falta de um medidor de vazão na corrente de permeado, o que impossibilita a visualização do seu comportamento. Porém, como a vazão de permeado apresentou uma queda durante os testes, provavelmente a sua pressão também decaiu, indicando um aumento na polarização por concentração devido ao *scaling* ou a formação de uma torta de lodo ou camada gelatinosa devido ao *fouling*.

TABELA 19 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm²)		ΔP (kgf/cm²)	Pressão (kgf/cm²)		Pressão (kgf/cm²)	
	Entrada	Saída	PS - PE	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	TESTE 1			TESTE 2		TESTE 3	
0	20,5	21,25	0,75	20,5	> 22,0	21,0	> 22,0
15	20,5	21,25	0,75	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0
30	20,25	21,25	1	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0
45	20,36	21,25	0,89	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0
60	20,5	21,25	0,75	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0
75	20,25	21,25	1	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0
90	20,5	21,5	1	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0
105	20,5	> 21,5	-	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0
120	20,75	> 21,6	-	21,0	> 22,0	21,0	> 22,0

A remoção média dos parâmetros físico-químicos analisados no efluente de entrada e permeado do sistema são apresentadas na Tabela 20. O resultado obtido em todos os testes são apresentados no Quadro do Apêndice G.

TABELA 20 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA OS TESTES COM EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 50%.

Parâmetros	Unidade	Bruto	Permeado	E.R. (%)	E.R Lit. (%)
DQO	mg/L	1088	3,20 ± 2,78	99,7%	85 – 95(*)
DBO	mg/L	95	0	100%	75 – 90(*)
Nitrato	µg/L	645	172,3 ± 8,5	73,3%	96 – 98
Fosfato	µg/L	2,3621	0,0042 ± 0,0017	99,8%	65 – 85(*)
Cloreto	mg/L	2071	65,68 ± 4,43	96,8%	92 – 98
Dureza	mg/L	2320	8,70 ± 1,53	99,6%	93 – 99
Alcalinidade	mg/L	737,3	36,70 ± 4,95	95,0%	96 - 99
COT	mg/L	1502,58	1,85 ± 3,056	99,9%	85 – 95(*)
SST	mg/L	298	0	100%	95 – 100(*)
Amônia	mg/L	16,2	2,77 ± 0,87	82,9%	90 – 98
Ferro	mg/L	73,8	0,001	100%	96 – 98
Manganês	mg/L	0,478	0,001	99,8%	96 – 98
Zinco	mg/L	3,803	0,001	100%	96 – 98
Níquel	mg/L	14,535	0,0356 ± 0,073	99,8%	96 – 99
Sílica	mg/L	13	1,0	>92,3%	92 – 95
Bário	mg/L	0,078	0,01	>87,2%	S.R.
Sódio	mg/L	1923	262,0	86,4%	92 – 98
Alumínio	mg/L	2,9	0,01	>99,6%	96 – 98
Colif Totais	NMP/100ml	25,6 x 10^2	2,70 ± 0,77	99,9%	S.R.
Colif Fecais	NMP/100ml	2	1,0	100%	S.R.
Cor	Hz	900	0	100%	90 – 96(**)

FONTE: AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇAO FORAM OBTIDAS NA LITERATURA DE KUCERA (2010), SENDO ESTAS AS CAPACIDADES DE REJEIÇAO OBTIDAS PELA MAIORIA DAS MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA EM SISTEMAS DE OR, A UMA TEMPERATURA AMBIENTE.

LEGENDA: (*) Estas eficiências foram fornecidas por Whitley Burchett & Associados (1999) adaptado por Metcalf & Eddy (2004), referente a operação de sistema de OR na Estação de Tratamento Sanitário de Dublin-San Ramon, no período de 4/1999 a 12/1999. (**) Eficiência extraída do trabalho de Ushikoshi et al. (2002) sobre sistema de OR para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.E.R. (Eficiência Remoção); E.R.Lit. (Eficiência de Remoção na Literatura); N.A. (Não avaliado), S.R. (Sem referência).

Ao analisar a qualidade do permeado observa-se que as remoções foram satisfatórias. Apenas o nitrato apresentou uma redução menor do que a esperada indicando uma maior passagem de sais pela membrana conforme já observado pela análise dos STD e da condutividade.

A DQO de entrada apresenta um valor alto, que, segundo Linde *et al* (1994), pode estar relacionado ao alto valor de cloretos. Sua remoção, todavia, foi satisfatória atingindo um eficiência em torno de 99,7%.

A tendência ao *fouling* biológico devido a qualidade da água tratada pela ETE da empresa é bem alto, estando os valores de COT em torno de 1500 mg/L. Uma vez que o limite determinado pelos fabricantes de membrana é de 3 mg/L, segundo Kucera, este efluente apresenta uma concentração 500 vezes maior do que a permitida.

Além da presença de ferro, o alto valor de cor também indica a existência de compostos orgânicos neste efluente, os quais podem ter sido, em partes, adsorvidos pela membrana, uma vez que ambos os parâmetros apresentaram remoção de 100%. Pela Figura 51 pode-se observar a diferença de cor entre o efluente bruto e rejeito e a ausência de cor do permeado. Neste dia de operação o efluente bruto apresentou cor de 900 Hz e o rejeito de em torno de 2200 Hz estando, portanto, 59,0% mais concentrado do que o efluente bruto.

FIGURA 51 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE DE ALIMENTACAO DA OR O QUAL CORRESPONDE AO EFLUENTE FINAL TRATADO, PERMEADO E REJEITO.

Além do ferro outros metais estão presentes nesta água de alimentação tais como o manganês, o alumínio, o bário, o níquel e o zinco. Todos apresentam valores acima do 0,05 ppm recomendados e igualmente contribuem para formação de *fouling*.

O alto valor de sólidos suspensos totais (SST) explica a alta turbidez do efluente e a remoção de 100% destes compostos pode ter contribuído para um acúmulo de sólidos na superfície da membrana, e consequente queda na vazão de permeado.

O alto valor de dureza, a qual representa presença de cálcio, e a alta presença de bicarbonato, representado pela alcalinidade indicam uma severa tendência ao *scaling*, que é comprovada após o determinação do Índice de Saturação de Langelier para esta água. O valor de LSI igual a 2 aliado ao fato do sistema apresentar redução na eficiência de remoção de sais ao longo dos 120

minutos de filtração e da queda gradativa na vazão de permeado comprovam a formação de incrustações na membrana. A presença expressiva destes parâmetros pode ainda comprometer a membrana permanentemente, conforme Linde *et al.* (1994). Em seus estudos com lixiviado de aterro de lixo biodegradável e lixo convencional, igualmente como observado ao longo dos três testes realizados neste estudo, houve uma redução de fluxo irreversível de um teste para outro. Ao submeterem a membrana a uma autópsia verificaram que, mesmo após a limpeza alcalina ainda havia cálcio incrustado na sua superfície, e que, portanto, a queda da vazão de operação transcorrida ao longo dos testes se deu devido a qualidade da água de alimentação.

Segundo Linde *et al.* (1994) a precipitação de sais de cálcio também pode ser amenizada reduzindo o seu pH para valores em torno de 6,5. Esta recomendação também foi dada através do contato pessoal com o responsável pelo Centro de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, o qual possui OR após sistema de MBR para tratamento de seu lixiviado. Segundo Marcelo Toste, quando o pH de entrada em seu sistema apresentou valores em torno de 7,5 – 8,0, a tendência ao *scaling* se agravou e o intervalo entre as lavagem química passou a ser de aproximadamente 6 horas ao invés de 1 ou 2 vezes por semana, como usual.

A DQO encontrada na amostra de rejeito foi de 1270 mg/L, o que representa um aumento de apenas 14,3% com relação ao efluente de alimentação.

5.3.1.2 Taxa de Recuperação de 65 %

Na sequência foram iniciados os testes com taxa de recuperação de 65%, porém só foi possível a operação do sistema nesta condição durante um período 1 hora e 45 minutos. Após 90 minutos de filtração a vazão total do sistema apresentou uma queda em torno de 20% com relação a vazão total do início do teste. A vazão de permeado, por sua vez, decaiu em torno de 15,0% de sua vazão inicial nos primeiros 60 min de operação, indicando a necessidade de uma lavagem química, conforme recomendado pelo fabricante.

A limpeza química das membranas foi então realizada e, após finalização deste processo, o sistema foi religado. Porém a vazão de permeado já iniciou em um valor de 227,00 L/h, ou seja, 16,7% menor que o valor obtido no início do processo e em 15 minutos de operação já reduziu mais 2,2% atingindo o valor de 222,56 L/h. Estes valores indicam que a membrana estava sendo prejudicada ao longo dos testes com este efluente e que, conforme observado por Linde *et al.* (1994) a ineficiência das lavagens químicas indicavam que a presença excessiva de sais de cálcio nesta água estavam provocado um *scaling* permanente na superfície da membrana. A continuidade das operações com o efluente tratado iria torná-la inutilizável.

Os resultados de pH, temperatura, condutividade, STD e turbidez obtidos neste teste são mostrados na Tabela 21.

O pH apresentou pouca variação nas amostras coletadas durante as duas horas de operação em ambos os pontos monitorados. Nas amostras de permeado o pH apresentou queda média de 15,2% em seu valor e nas amostras de rejeito queda de 0,7%.

Ao contrário do pH, a temperatura elevou-se em ambas as amostras sendo este aumento em torno de 3,4℃ e 4,0℃ nas amostras de permeado e rejeito respectivamente.

A condutividade e os STD, como transcorrido em todos os outros testes realizados, apresentaram queda drástica nas amostras de permeado e um aumento na concentração de sais em torno de 2 vezes da concentração da água de alimentação. Na amostra de permeado a redução na condutividade foi em média de 86,8% e a remoção média de STD de 88,48%. Já as amostras de rejeito apresentaram um aumento médio da condutividade e dos STD de 147,7 e 148,1% respectivamente.

A turbidez do efluente de alimentação apresentou um valor de 70,1 NTU, concentrando-se em torno de 11,8% apenas nas amostras de rejeito. Isto indica que, provavelmente, uma boa parte dos SS presentes na água tinham diâmetro maior que 1,0 µm, sendo removidos pelo filtro de cartucho. A remoção da turbidez na amostra de permeado foi de 99,8% apresentado valores entre 0,11 a 0,18 NTU.

TABELA 21 - PARÂMETROS MONITORADOS DURANTE O PROCESSO DE OR.

Tempo (min)	Parâmetros				
	pH	Temp (℃)	Cond. (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,04	19,8	14590	8230	70,1
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	6,82	23,1	2080	1030	0,18
30	6,76	23,1	1960	964	0,11
60	6,71	23,3	1850	914	0,11
90	6,98	23,1	1797	885	0,11
120	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,96	23,5	28400	16200	61,1
30	7,99	23,5	28200	16000	81,5
60	7,95	24,1	27700	15800	89,5
90	8,04	24,3	27300	15500	85,9
120	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

LEGENDA: N.A. Não Aplicado.

A vazão do permeado e a vazão total do sistema apresentaram queda rápida durante o processo as quais foram acompanhados com o aumento da pressão de saída da membrana e a possível queda da pressão do permeado, como mostrado nas Tabelas 22 e 23.

TABELA 22 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE O TESTE COM O EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.

Tempo (min)	Vazão (L/h)	Rendimento %
AMOSTRA DE PERMEADO		
0	272,52	54,55%
15	249,81	55,00%
30	238,46	53,85%
45	238,46	53,85%
60	227,10	55,56%
75	227,10	55,56%
90	227,10	55,56%
105	222,56	55,06%
120	-	-
AMOSTRA DE REJEITO		
0	227,10	45,45%
15	204,39	45,00%
30	204,39	46,15%
45	204,39	46,15%
60	181,68	44,44%
75	181,68	44,44%
90	181,68	44,44%
105	181,68	44,94%
120	-	-

LEGENDA: N.A.: Não aplicado.

TABELA 23 - DIFERENÇA DAS PRESSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA PILOTO AO LONGO DE SUA OPERAÇÃO.

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm²)	
	Entrada	Saída
0	21,0	> 22,0
15	21,0	> 22,0
30	21,0	> 22,0
45	21,0	> 22,0
60	21,0	> 22,0
75	21,0	> 22,0
90	21,0	> 22,0
105	21,0	> 22,0
120	-	-

A Figura 52 mostra a variação das vazões de permeado e a Figura 53 a variação da vazão total do sistema ao longo do processo de filtração.

Em ambas as Figuras (52 e 53) notam-se uma queda drástica de vazão no período de 15 minutos. A alta salinidade deste efluente contribui para o aumento do fenômeno de polarização por concentração, e o fluxo ainda apresenta uma queda entre o período de 15 a 30 minutos, tornando-se estável após este período. Esta queda também está aliada ao possível *fouling* provocado ao longo da filtração e, no tempo de 90 minutos foi necessário efetuar uma lavagem química nas membranas. Porém a vazão inicial não foi atingida após este processo, o que reforça o severo *fouling* e *scaling* que este efluente provocou ao sistema. Estes fenômenos foram responsáveis por uma nova queda de vazão nos 15 minutos seqüenciais ao processo de lavagem e a operação foi então suspensa.

A eficiência de remoção e os parâmetros físico químicos analisados são apresentados na Tabela 24.

Ao analisar a qualidade do permeado observa-se que mais uma vez as remoções foram satisfatórias. Igualmente ao teste realizado com a taxa de recuperação de 50% o nitrato apresentou uma redução em torno de 79,0% indicando uma menor eficiência na remoção de sais.

A DQO de entrada apresenta um valor alto, igual cloretos, visto que suas presenças podem estar relacionadas, segundo Linde *et al* (1994). Neste teste novamente a sua remoção foi exemplar com eficiência de 98,6%.

A tendência ao *fouling* biológico devido a qualidade da água tratada pela ETE da empresa mostrou-se alto, com valores de COT em torno de 700 mg/L.

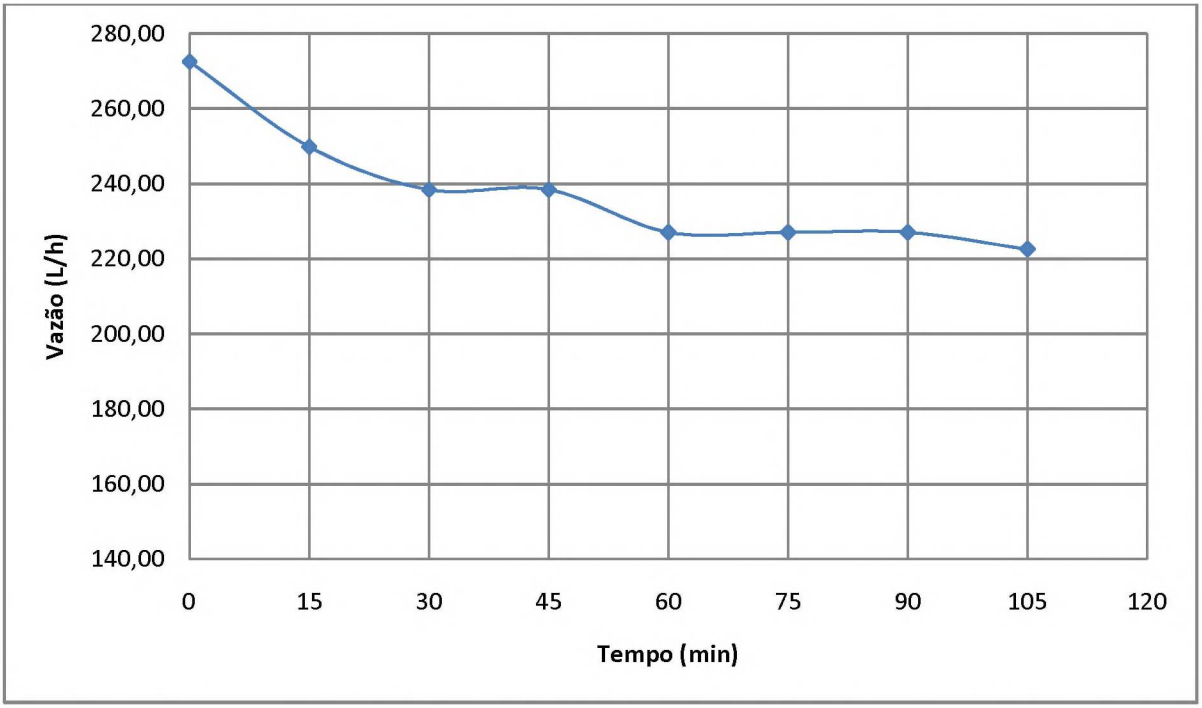


FIGURA 52 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

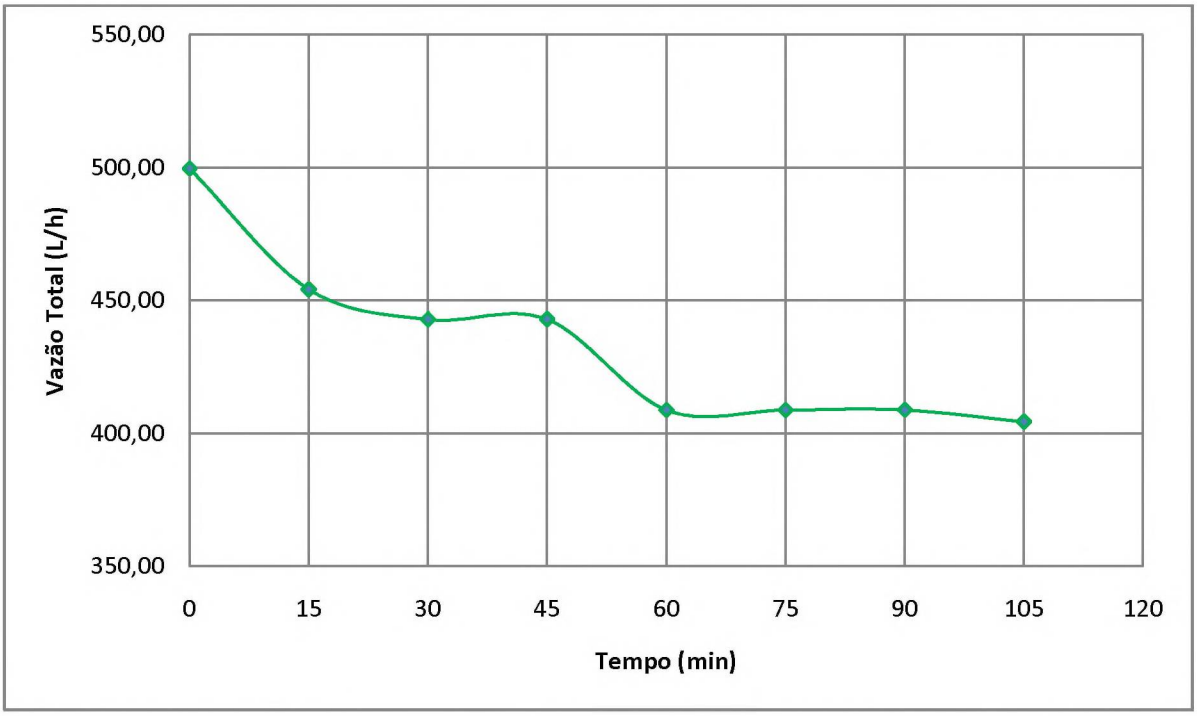


FIGURA 53 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

TABELA 24 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA O TESTE COM EFLUENTE TRATADO PELA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

Parâmetros	Unidade	Bruto	Permeado	E.R. (%)	E.R Lit (%)
DQO	mg/L	983	14	98,6%	85 – 95(*)
DBO	mg/L	287,0	4,4	98,5%	75 – 90(*)
Nitrato	µm/L	659,0	133,0	79,8%	96 – 98
Fosfato	µm/L	1,978	0,013	99,4%	65 – 85(*)
Cloreto	mg/L	2715,30	72,79	97,3%	92 – 98
Dureza	mg/L	2460	8	99,7%	93 – 99
Alcalin	mg/L	626,20	38,89	93,8%	96 - 99
COT	mg/L	695,73	0,44	99,9%	85 – 95(*)
SST	mg/L	193,3	0	100%	95 – 100(*)
Amônia	mg/L	8,08	2,11	73,9%	90 – 98
Ferro	mg/L	28,600	0,086	99,7%	96 – 98
Manganês	mg/L	0,743	< 0,001	>99,9%	96 – 98
Zinco	mg/L	3,661	< 0,001	>99,9%	96 – 98
Níquel	mg/L	9,050	< 0,001	>99,9%	96 – 99
Sílica	mg/L	9,0	< 1	>88,9%	92 – 95
Bário	mg/L	0,058	< 0,01	>82,7%	S.R.
Sódio	mg/L	1232	262	78,7%	92 – 98
Alumínio	mg/L	1,100	< 0,01	>99,1%	96 – 98
Coli Totais	NMP/100ml	$7,3 \times 10^2$	2	99,7%	S.R.
Colif Fecais	NMP/100ml	< 1	< 1	100%	S.R.
Cor	Hz	600	0	100%	90 – 96(**)

FONTE: AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇAO FORAM OBTIDAS NA LITERATURA DE KUCERA (2010), SENDO ESTAS AS CAPACIDADES DE REJEIÇAO OBTIDAS PELA MAIORIA DAS MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA EM SISTEMAS DE OR, A UMA TEMPERATURA AMBIENTE.

LEGENDA: (*) Estas eficiências foram fornecidas por Whitley Burchett & Associados (1999) adaptado por Metcalf & Eddy (2004), referente a operação de sistema de OR na Estaçao de Tratamento Sanitário de Dublin-San Ramon, no período de 4/1999 a 12/1999. (**) Eficiência extraída do trabalho de Ushikoshi et al. (2002) sobre sistema de OR para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.E.R. (Eficiência Remoção); E.R.Lit. (Eficiência de Remoção na Literatura); N.A. (Não avaliado), S.R. (Sem referência).

A cor apresentou valores em torno de 600 Hz e uma remoção de 100% novamente indica a possível adsorção de ferro e compostos orgânicos, os quais contribuem para uma queda na redução de fluxo pela membrana devido a formação de *fouling* que, segundo a empresa DOW Water & Process Solutions, pode ser irreversível. Pela Figura 54, pode-se observar a diferença de cor entre o efluente bruto e rejeito e a ausência de cor do permeado. A cor concentrou-se em 81,2% na amostra de rejeito.

FIGURA 54 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE DE ALIMENTACAO DA OR O QUAL CORRESPONDE AO EFLUENTE FINAL TRATADO, PERMEADO E REJEITO.

Manganês, alumínio, bário e zinco, uma vez presentes no efluente acima do limite recomendado, também contribuem para formação de *fouling*.

A alta turbidez do efluente bruto decorrente da presença de SST, em uma vez que em contato com os microporos da membrana de OR, apresentam grande possibilidade de formação de torta de lodo sob a membrana, contribuindo para queda na vazão de permeado.

Mais uma vez altos valores de dureza e alcalinidade foram detectados. O LSI desta água de alimentação também foi de 2 indicando risco severo de formação de precipitados e incrustações. Porém nos testes com taxa de recuperação de 65% não foi observado um aumento gradativo na passagem de sais, para corrente de permeado, ao longo da filtração indicando que possivelmente a formação de *fouling* tenha sido mais expressiva durante este teste do que a concentração de sais saturados na camada limite da membrana, uma vez que ambos os fatores provocam queda de fluxo, conforme observado.

A DQO encontrada na amostra de rejeito foi de 1120 mg/L, ou seja, 12,23% maior que o efluente de alimentação.

O aumento da taxa de recuperação aplicada ao sistema implica em uma menor vazão de entrada e uma menor eficiência de remoção de sais.

Ao comparar os testes com o efluente tratado pela ETE da unidade a eficiência média de remoção obtida nos testes com taxa de recuperação de 50% foi

de 88,85% contra 85,83% com a taxa de recuperação de 65%, enquanto que a vazão total do sistema atingiu um valor médio de 726,7 ± 52,4 L/h nos testes com taxa de 50% e 499,62 L/h com taxa de recuperação de 65%, representando uma queda de 31,2% da vazão de entrada de uma condição para outra. Vale ressaltar ainda que no teste com taxa de recuperação maior foi necessária uma lavagem química aos 90 minutos de operação indicando assim que, quanto menor a vazão de descarte, maior é a tendência a depósitos de sólidos e incrustações.

5.4 EFLUENTE RETRATADO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO

5.4.1 Caracterização do efluente

Este efluente é obtido através do retratamento do efluente final da ETE da empresa através de processo físico químico, com o objetivo da remoção dos sólidos suspensos e da DQO remanescentes após tratamento usual.

Com o propósito de avaliar se outros componentes presentes no efluente tratado, além da DQO e SS, também são removidos através deste tratamento, foi simulado um retratamento em escala de laboratório e ambas as amostras, efluente tratado e retratado, foram analisados. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 25.

Pelos resultados destas análises as remoções mais expressivas realmente são de DQO e SS, podendo atingir valores em torno de 64,89% e 92,21% respectivamente. São observados também uma redução em torno de 70% de cor proporcionada pelo carvão ativado em pó e da alcalinidade, a qual foi em torno de 40,2%, devido a adição de sulfato de alumínio durante o processo. Os outros parâmetros não apresentaram redução significativa, sendo que alguns até aumentaram, como os STD.

TABELA 25 - QUALIDADE FINAL DO EFLUENTE TRATADO E APÓS O SEU RETRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO.

Parâmetros	Unidades	Efluente Tratado	Efluente Retratado
Condutividade	µS/cm	15400	15490
DQO	mg/L	1148	403
Nitrato	mg/L	272,22	211
Cloreto	mg/L	2677,3	2509,9
Dureza	mg/L	2700	2520
Alcalinidade	mg/L	640	383
COT	mg/L	250,4	252,1
SST	mg/L	674	52,5
STD	mg/L	8530	8610
Amônia	mg/L	20,32	22,45
Cor	Hz	700	200

5.4.2 Comportamento dos Parâmetros

Para este teste foi utilizada a taxa de recuperação de 65% de permeado.

Os valores obtidos para o pH, condutividade, STD e turbidez são mostrados na Tabela 26.

O pH nas amostras de permeado apresentaram em média 11% de aumento com relação ao pH da água de alimentação, enquanto que, nas amostras de rejeito os valores apresentaram uma queda de 1,6%. Novamente ressalta-se a possível interferência do pHmetro devido ao equipamento ser de baixa impedância.

A temperatura elevou-se em ambas as amostras sendo este aumento em torno de 1,5℃ e 0,73℃ nas amostras de permeado e rejeito respectivamente.

A condutividade e os STD, como transcorrido em todos os outros testes realizados, apresentaram queda drástica nas amostras de permeado e um aumento na concentração de sais em torno de 2 vezes da concentração da água de alimentação. Na amostra de permeado a redução na condutividade foi em média de 93,59% e a remoção média de STD de 94,43%. Já as amostras de rejeito apresentaram um aumento médio da condutividade e dos STD de 154,97 e 156,62% respectivamente. Porém, neste teste a condutividade e o STD apresentam um leve aumento no decorrer do processo, o que significa que há uma maior passagem do sais dissolvidos pela membrana ao longo da filtração, prejudicando assim a

qualidade do permeado, indicando uma possível formação de *scaling* na superfície das membranas.

A turbidez do efluente de alimentação apresentou um valor de 24,9 NTU, porém a turbidez nas amostras de rejeito foi em média 19,7 NTU. Isto indica o que a maior parte dos sólidos que contribuem para turbidez da água foram removidos pelo filtro de cartucho anterior ao sistema de membranas. A remoção da turbidez na amostra de permeado foi de 99,35% em relação a do efluente de alimentação, mantendo os valores na faixa de 0,1 a 0,2 NTU.

TABELA 26 - PARÂMETROS MONITORADOS DURANTE O PROCESSO DE OR.

Tempo (min)	Parâmetros				
	pH	Temp. (℃)	Cond. (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,18	23,4	10590	5790	24,9
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	9,10	24,7	645	307	0,2
30	9,14	26,7	688	326	0,1
60	9,28	25	690	329	0,2
75	9,19	23,3	691	329	0,14
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,01	25,7	23900	13500	15,3
30	8,03	23,7	23800	13500	21,7
60	8,08	24,4	23100	13200	20,7
75	8,06	22,7	23300	13200	21

Durante os primeiros 5 minutos de filtração as pressões de entrada e saída caíram bruscamente e a passagem de água para a OR foi interrompida. Detectou-se então que este bloqueio foi decorrente ao saturamento do filtro de cartucho. Após a sua troca a operação voltou a sua normalidade, porém a pressão de entrada apresentou queda contínua de 21 a 19,75 kgf/cm², indicando que o filtro de cartucho estava saturando ao longo do processo.

Após 1 hora e 15 minutos de operação a vazão total reduziu em aproximadamente 20% da sua vazão inicial obtida passando de 499,62 para 409,9 m³/h, igualmente como a vazão de permeado que reduziu de 317,9 para 250,9 m³/h. Foi efetuada, portanto, a limpeza química das membranas.

Na sequência o sistema foi recolocado em operação. A vazão, porém não atingiu o mesmo valor inicialmente obtido, apresentando queda de 4,5% indicando que a limpeza química não foi capaz de remover os possíveis compostos causadores da redução de fluxo. Porém só foi possível operar a OR durante

aproximadamente mais 10 minutos. Novamente as pressões caíram e o entupimento do filtro de cartucho mais uma vez interrompeu o processo de filtração. A filtração, portanto, durou apenas 1 hora e 25 minutos até a saturação completa do segundo filtro de cartucho.

A Tabela 27 mostra a vazão das correntes de permeado e rejeito ao longo dos 85 minutos, enquanto que as Figuras 55 e 56 ilustram a vazão do permeado e a vazão total do sistema.

A rápida saturação é decorrente das partículas de carvão ativado em pó carreadas do processo físico-químico. As partículas de carvão em pó ou carvão ativado pulverizado apresentam granulometria <45 µm, segundo ficha técnica do fornecedor SBC, o qual fornece o carvão ativado em pó para a empresa. Uma vez que o filtro de cartucho anterior à alimentação das membranas de OR apresenta porosidade de 1,0 µm, a maior parte das partículas de carvão ficam nele retidas, provocando sua total saturação a ponto de impedir qualquer fluxo de água por entre o mesmo. O fato dos valores de turbidez nas amostras de rejeito serem menores que na água de entrada reforçam a ação do filtro de cartucho. Sendo assim, o adequado seria a instalação de um pré-tratamento anterior a este sistema para retenção destas partículas de maior diâmetro. Este tratamento pode ser realizado através de filtros de areia.

TABELA 27 - VALORES DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DURANTE O TESTE COM O EFLUENTE RETRATADO E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.

Tempo (min)	Vazão (L/h)	Taxa de Recuperação %
AMOSTRA DO PERMEADO		
0	317,9	63,64%
15	317,9	63,64%
30	295,2	65,00%
45	272,5	63,16%
60	272,5	63,16%
75	252,1	61,33%
85	295,2	61,11%
AMOSTRA DO REJEITO		
0	181,7	36,36%
15	181,7	36,36%
30	159,0	35,00%
45	159,0	36,84%
60	159,0	36,84%
75	159,0	38,67%
85	181,7	38,10%

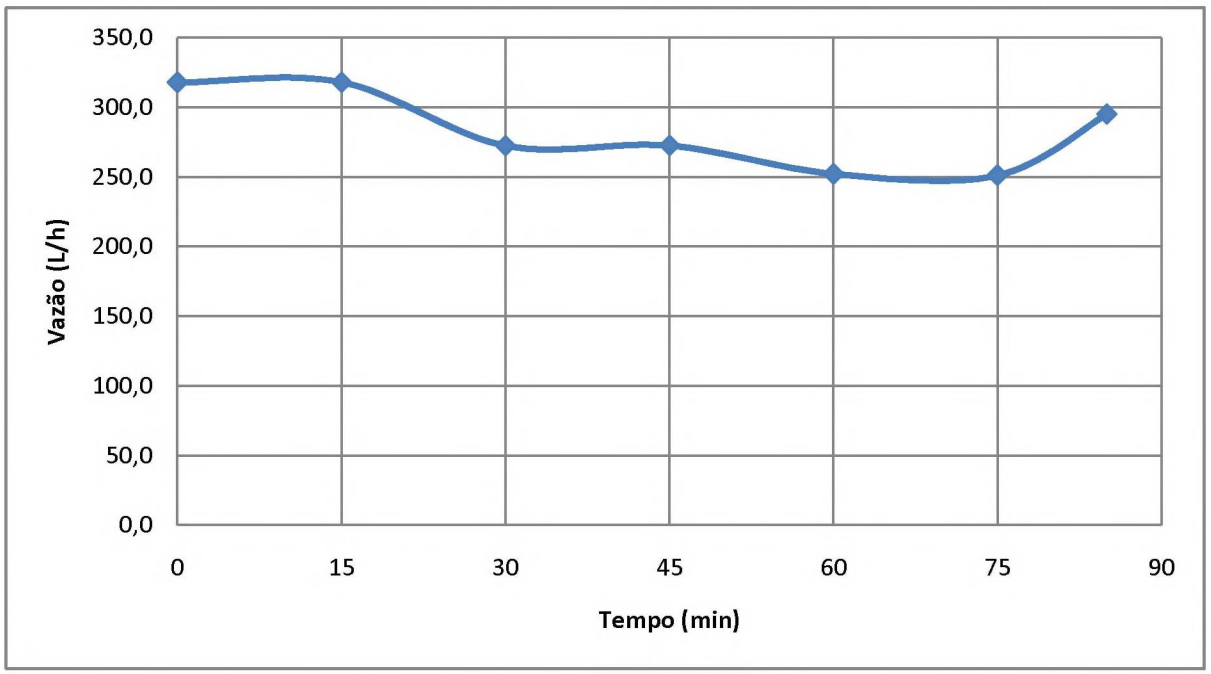


FIGURA 55 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE O TESTE O EFLUENTE RETRATADO E COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

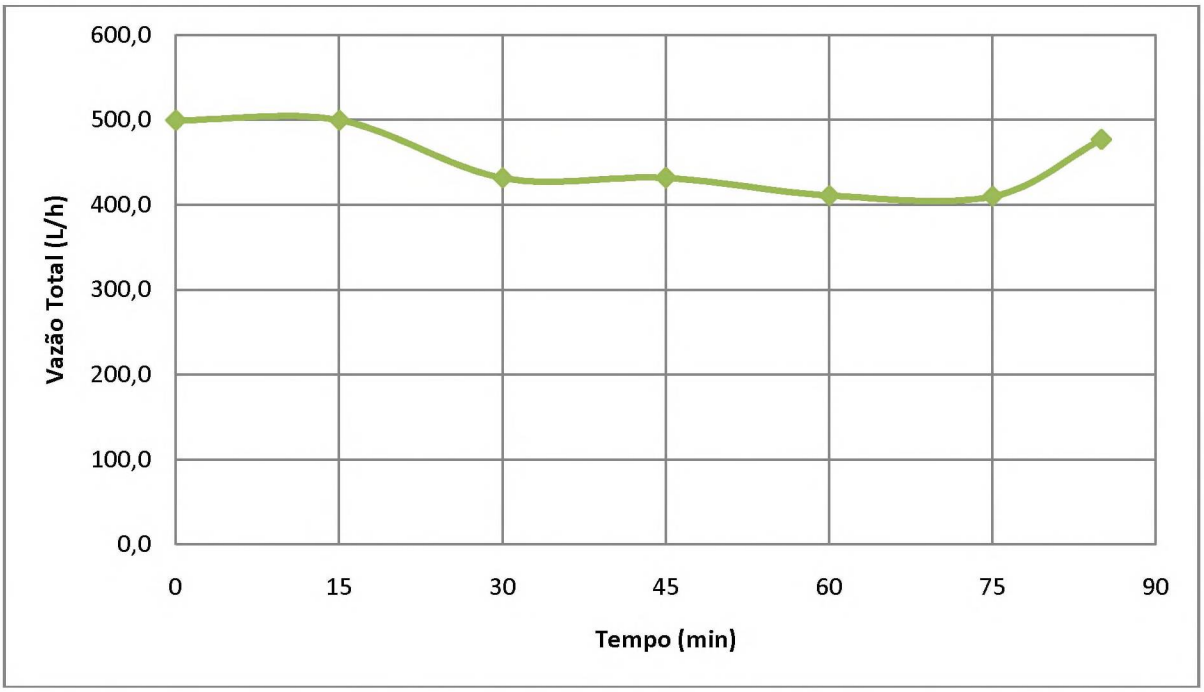


FIGURA 56 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE O TESTE O EFLUENTE RETRATADO E COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

A Figura 57 mostra ambos os filtros de cartucho no momento em que foram trocados. O primeiro filtro substituído apresenta um aspecto marron com alguns pontos em que o preto se destaca. Este filtro já estava sendo utilizado durante os

testes e, portanto, tem em seu corpo partículas sólidas oriundas dos outros efluentes. Já o segundo filtro foi trocado durante o processo de filtração com efluente retratado, sendo o seu aspecto preto um indicativo de que as partículas retidas são, em sua maioria, partículas de carvão ativado em pó que foram adicionadas ao processo físico-químico para retratamento do efluente.

FIGURA 57 - FILTROS DE CARTUCHO MO MOMENTO DE SUA TROCA

As análises físico-químicas e as respectivas eficiências de remoções durante este processo são mostrados na Tabela 28.

Ao analisar a qualidade do permeado observa-se que mais uma vez as remoções foram satisfatórias.

Para o efluente retratado a remoção DQO foi praticamente de 100%, uma vez que o limite de detecção do aparelho foi obtido.

O valor de COT apresentado foi de 149,82 mg/L. Considerando que o limite estabelecido pelos fornecedores, segundo Kucera (2010) é de 3mg/L, esta valor indica um alto potencial ao *fouling* biológico.

Devido ao retratamento envolver um processo de coagulação floculação, com a adição de sulfato de alumínio ferroso os valores de alumínio e ferro apresentaram um acréscimo em comparação com os testes anteriores, sendo que os valores de 3,29 mg/L para o alumínio e 2,32 mg/L para o ferro, estão ambos acima do limite recomendado pela empresa Dow Water & Process Solution é de 0,05 ppm. Com

este excesso em torno de 98,0%, a contribuição por parte destes metais para formação de *fouling* é alta.

TABELA 28 - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA OS TESTES COM EFLUENTE RETRATADO E TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

Parâmetros	Unidade	Bruto	Permeado	E.R (%)	E.R Lit (%)
DQO	mg/L	662	0,1	> 99,9%	85 – 95(*)
Nitrato	mg/L	185	48,7	73,7%	96 – 98(*)
Cloreto	mg/L	1958,64	77,42	96%	92 – 98
Dureza	mg/L	1760	18,0	99%	93 – 99
Alcalin	mg/L	2060	120,0	94,2%	96 – 99
COT	mg/L	149,82	10,74	92,8%	85 – 95(*)
SST	mg/L	70	0	100%	95 – 100(*)
Amônia	mg/L	16,88	5,50	67,4%	90 – 98
Ferro	mg/L	2,32	< 0,0001	> 99,9%	96 – 98
Manganês	mg/L	0,0329	0,0053	>99,9%	96 – 98
Sódio	mg/L	1459,6	90,6	93,8%	92 – 98
Alumínio	mg/L	3,29	0,0107	99,7%	96 – 98
Cor	Hz	1000	0	100%	90 – 96(**)

FONTE: AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇAO FORAM OBTIDAS NA LITERATURA DE KUCERA (2010), SENDO ESTAS AS CAPACIDADES DE REJEIÇAO OBTIDAS PELA MAIORIA DAS MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA EM SISTEMAS DE OR, A UMA TEMPERATURA AMBIENTE.

LEGENDA: (*) Estas eficiências foram fornecidas por Whitley Burchett & Associados (1999) adaptado por Metcalf & Eddy (2004), referente a operação de sistema de OR na Estaçao de Tratamento Sanitário de Dublin-San Ramon, no período de 4/1999 a 12/1999. (**) Eficiência extraída do trabalho de Ushikoshi et al. (2002) sobre sistema de OR para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.E.R. (Eficiência Remoção); E.R.Lit. (Eficiência de Remoção na Literatura); N.A. (Não avaliado), S.R. (Sem referência).

FIGURA 58 - DA ESQUERDA PARA DIREITA, EFLUENTE DE ALIMENTACAO DA OR O QUAL CORRESPONDE AO EFLUENTE FINAL TRATADO, PERMEADO E REJEITO.

A cor apresentou valores em torno de 1000 Hz e uma remoção de 100% indica a possível adsorção de ferro e compostos orgânicos responsáveis pela sua presença. Este valor alto no valor do efluente tanto da eficiência de sua remoção podem implicar em uma adsorção irreversível que, segundo a empresa DOW Water & Process Solutions é possível de acontecer. Pela Figura 58 pode-se observar a diferença de cor entre o efluente bruto e rejeito e a ausência de cor do permeado. A cor concentrou-se em 60% na amostra de rejeito.

O efluente tratado pela ETE da empresa apresentou neste dia SST equivalente a 324 mg/L, sendo a redução devido ao retratamento pelo processo de coagulação/floculação/decantação de 78,4%. Porém uma parcela expressiva dos 70 mg/L de SST corresponde a um resquício de carvão ativado em pó que foi utilizado no retratamento e que se manteve presente no efluente, sendo evidenciado pela rápida saturação do filtro de cartucho antecedente ao sistema. Portanto, grande parte destes sólidos não teve contato com a membrana de OR, todavia a pequena parcela com diâmetro menor que 1,0µm, que pode ter passado pelo filtro provavelmente contribuiu para a formação de *fouling*.

O LSI para este efluente é de 2,6, valor este que representa altíssimo potencial a incrustações. Esta tendência é comprovada pelos altos valores de dureza e principalmente de alcalinidade, e pela redução brusca de fluxo somada ao aumento da salinidade no decorrer do processo de filtração.

A DQO encontrada na amostra de rejeito foi de 2236,0 mg/L, ou seja, 70,4% maior que o efluente de alimentação.

No dia em que o teste acima foi realizado a DQO do efluente tratado pela empresa era de 1478,0 mg/L. Durante todo o mês de Dezembro os valores de DQO do efluente tratado mantiveram-se na faixa de 1600 a 1400 e do retratado entre 1200 a 1000. O objetivo deste trabalho era de realizar o teste com um efluente retratado com valores de DQO menores dos testes executados com o efluente tratado, porém, durante o período reservado para esta operação, o efluente retratado não apresentou os valores esperados. Desta forma foi realizado apenas um teste com este efluente.

5.5 PERÍODO DE COLMATAÇÃO DAS MEMBRANAS

A operação da OR sem lavagens periódicas com a finalidade de verificar o tempo de operação contínua, até colmatação das membranas pelos diferentes efluentes testados, foi realizada sob a condição de taxa de recuperação de 65%.

Para o efluente tratado pelo MBR foi obtido um período de aproximadamente 15 horas de filtração, sendo a vazão total e de permeado obtidas no início da operação respectivamente iguais a 568 L/h e 365 L/h. Após este período as vazões reduziram para 477 L/h e 295 L/h , o que representa uma queda da vazão total em torno de 16%, e permeado em torno de 18%. A lavagem química foi então realizada.

Este teste anteriormente descrito foi realizado após o teste de operação da OR com o efluente tratado, que por sua vez, apresentou colmatação das membranas após uma hora e trinta minutos de operação, com vazões iniciais total e de permeado em torno de 500L/h e 272 L/h. Neste caso, foi feita uma lavagem química com duração total de 80 minutos, sendo 40 minutos de lavagem ácida e 40 minutos de lavagem alcalina. Ao retomar a operação do sistema, porém, a vazão total obtida foi em torno de 16,7% que a anteriormente obtida, o que sugere uma possível colmatação permanente das membranas. Portanto, ter realizado o teste de colmatação pelo efluente tratado pelo MBR após esta operação pode ter influenciado no resultado de 15 horas de filtração contínua.

Com o efluente retratado, o qual foi o último efluente a ser testado, o período de colmatação das membranas foi de uma hora e quinze minutos.

5.6 COMPARAÇAO ENTRE OS EFLUENTES TESTADOS

Para comparação da qualidade de água tratada e do desempenho da OR às três diferentes águas de alimentação, foram utilizados os testes com taxa de recuperação de 65%.

Ao analisar a qualidade de água tratada obtida pelo tratamento com OR para cada um dos efluentes, observam-se que todos os parâmetros estão de acordo com os padrões de lançamento exigidos pela Resolução N°357 do CONAMA, os quais podem ser visualizados na Tabela 29, inclusive os valores de DQO, que compreende hoje o parâmetro mais problemático para a empresa, sendo o seu valor de 300 mg/L dificilmente atingido através tratamento existente na unidade.

TABELA 29 - QUALIDADE DAS ÁGUAS OBTIDAS PELO TRATAMENTO POR PROCESSO DE OSMOSE REVERSA.

Parâmetros	Unidade	E.T. MBR	E.T	E.R	Padrões
		PERMEADO	PERMEADO	PERMEADO	CONAMA
Condutividade	µS/L	262,6 ± 115,3	1921,4 ± 125,4	678,5 ± 22,4	-
DQO	mg/L	23,8 ± 19,5	14,0	0	300 mg/L(*)
Nitrato	mg/L	20,56 ± 5,98	133,0	48,7	-
Cloreto	mg/L	6,76 ± 0,67	72,79	77,42	-
Dureza	mg/L	2,5 ± 1,0	8,0	18,0	-
Alcalinidade	mg/L	23,57 ± 2,45	38,89	120,0	-
COT	mg/L	1,08 ± 0,73	0,4357	10,74	-
SST	mg/L	0	0	0	-
STD	mg/L	125,7 ± 55,2	948,2 ± 63,5	322,7 ± 10,6	-
Amônia	mg/L	1,92 ± 0,7	2,11	5,50	20 mg/L
Ferro	mg/L	0,001 ± 0,0	0,086	< 0,0001	15 mg/L
Manganês	mg/L	0,001 ± 0,0	< 0,001	0,0053	1 mg/L
Sódio	mg/L	30,90 ± 11,7	90,6	90,6	-
Alumínio	mg/L	0,01 ± 0,0	0,0107	0,0107	-
Cor	Hz	0,0 ± 0,0	0	0	-

LEGENDA: E.T. MBR (Efluente Tratado pelo MBR), E.T. (Efluente Tratado), E.R (Efluente Retratado), (Padrões CONAMA) Padrões de Lançamento segundo Resolução n°357 do CONAMA
(*) Padrão de Lançamento determinado pelo IAP.

Segundo os critérios de reuso determinados pela U.S. EPA (2004), a água obtida em todos os testes podem ser aplicadas para fins urbanos, preservação da fauna e da flora, fins recreacionais e industriais. Conforme os padrões listados por Metcalf & Eddy (2003), em reuso para fins industriais, estas não se enquadram, apenas, nos padrões de alimentação de aquecedores e caldeiras devido aos parâmetros de DQO, dureza e STD. Ainda referente a este reuso, a necessidade de confirmar com o fabricante das torres de resfriamento a padrão de entrada de Nitrogênio determinado por este. A qualidade da água tratada referente a estes testes pode ser visualizado no Quadro comparativo do Apêndice J.

As eficiências de remoção, conforme apresentado na Tabela 30, apresentaram valores muito próximos para todos os efluentes indicando que,

independente da qualidade da água de alimentação, a eficiência quanto a remoção de composto pela OR é satisfatória. Somente a remoção de condutividade e dos STD apresentaram eficiências menores para o efluente tratado pela ETE da empresa em decorrência da alta salinidade do efluente bruto que, segundo Kucera (2010) são inversamente relacionadas. Estes valores são apresentados nos Quadros que compõe os Apêndices H e I.

TABELA 30 - EFICIENCIAS DE REMOÇÃO DOS DIFERENTES EFLUENTES DURANTE A OPERAÇAO DA OR COM TAXA DE RECUPERACÃO DE 65%.

Parâmetros	Unidade	E.T PELO MBR	E. T.	E. R.
Condutividade	µS/cm	94,8%	86,8%	93,6%
DQO	mg/L	88%	98,6%	> 99,9%
Nitrato	mg/L	93,5%	79,8%	73,7%
Cloreto	mg/L	99%	97,3%	96%
Dureza	mg/L	99,7%	99,7%	99%
Alcalin	mg/L	94,6%	93,8%	94,2%
COT	mg/L	96,1%	99,9%	92,8%
SST	mg/L	100%	100%	100%
STD	mg/L	95,5%	88,5%	94,4%
Amônia	mg/L	86,5%	73,9%	67,4%
Ferro	mg/L	> 99,9%	99,7%	> 99,9%
Mn	mg/L	> 99,5%	>99,9%	>99,9%
Sódio	mg/L	94,8%	92,6%	93,8%
Alumínio	mg/L	>93,2%	99%	99,7%
Cor	Hz	100%	100%	100%

LEGENDA: E.T. (Efuente tratado); E.R. (Efluente Retratado).

Inúmeros trabalhos com tratamento de lixiviado de aterro também obtiveram eficiências elevadas, com destaque para Chianese *et at.* (1994), o qual obteve eficiência de remoção em torno de 98% para a DQO; Linde *et al.* (1994); que obteve valores de remoção de DQO, amônia e metais acima de 98% para os três lixiviados dos diferentes aterros estudados de Ahn *et al.* (2002); o qual obteve remoções de 97% de DQO, 96% de amônia e 93% de nitrato.

Vale ressaltar que no estudo realizado, diferentemente dos dois últimos trabalhos citados, a remoção de amônia não atingiu valores próximos de 90%. Conforme Palma *et al.* (2002); altos valores de pH, como os observados neste trabalho, afetam a remoção deste composto. Ahn *et al.* (2002), reforça ainda que a combinação do sistema de MBR com OR na sequência é o ideal para remoção de nitrogênio, uma vez que a amônia sofre nitrificação no MBR e posteriormente é removida mais facilmente na forma de nitrato e nitrito pela OR.

Porém a qualidade da água de alimentação afeta diretamente o fluxo ou vazão de permeado capaz de ser obtido, o tempo de operação do sistema e o potencial de *fouling* e *scaling* das membranas.

Conforme Kucera (2010), uma vez que a pressão do sistema seja mantida constante, quanto maior a salinidade do efluente, menor é a passagem de água pela membrana, sendo este efeito verificado neste estudo. A Tabela 31 mostra as vazões obtidas ao longo do processo de filtração para os três efluentes, sob uma mesma condição de taxa de recuperação.

A queda da vazão de permeado durante o processo de filtração foi em torno de 2% para o efluente tratado pelo MBR enquanto que, para os efluentes tratado pelo processo de lodos ativados pela ETE da empresa e efluente retratado físico quimicamente foram de 16,7% e 21%, respectivamente. Neste último, a maior queda pode ter sido provocada devido as eventuais partículas de carvão ativado em pó que podem ter passado pelo filtro de cartucho e se instalando assim, na superfície da membrana de OR provocando a obstrução de seus poros.

A queda da vazão de permeado entre o teste com o efluente tratado pelo MBR e os efluentes tratado e retratado foi de 61,36% e 53,84% respectivamente. As reduções nas vazões totais obtidas entre os testes com o efluente tratado pelo MBR e o efluente tratado pela empresa foi em média 53,32%, enquanto que, com relação ao efluente retratado esta queda foi de 51,40%.

TABELA 31 - VARIAÇAO DAS VAZÕES OBTIDAS NOS TESTES COM OS DIFERENTES EFLUENTES DURANTE A OPERAÇAO DA OR COM TAXA DE RECUPERACÃO DE 65%.

Tempo (min)	EFLUENTE TRATADO PELO MBR			EFLUENTE TRATADO	EFLUENTE RETRATADO
	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE ÚNICO	TESTE ÚNICO
AMOSTRA DE PERMEADO					
0	635,9	613,2	613,2	272,5	317,9
15	631,3	613,2	613,2	249,8	317,9
30	635,9	590,5	613,2	238,5	272,5
45	613,2	590,5	613,2	238,5	272,5
60	613,2	590,5	613,2	227,1	252,1
75	590,5	635,9	601,8	227,1	250,9
90	613,2	635,9	613,2	227,1	295,2
105	613,2	635,9	601,8	222,6	-
120	613,2	635,9	590,5	-	-
MD. 1	617,71	615,69	608,12	237,89	282,74
MD. 2		615,69 ± 5,06		237,89 ± 16,59	284,16 ± 26,75
AMOSTRA DE REJEITO					
0	363,4	317,9	317,9	227,1	181,7
15	363,4	317,9	317,9	204,4	181,7
30	317,9	317,9	317,9	204,4	159,0
45	317,9	317,9	317,9	204,4	159,0
60	317,9	317,9	317,9	181,7	159,0
75	306,6	317,9	317,9	181,7	159,0
90	317,9	317,9	306,6	181,7	181,7
105	317,9	317,9	317,9	181,7	-
120	317,9	317,9	317,9	-	-
MD. 1	326,77	317,94	316,68	195,87	168,70
MD. 2		320,46 ± 5,50		195,87 ± 16,90	167,49 ± 11,75
VAZÃO TOTAL DO SISTEMA					
0	999,2	931,1	931,1	499,6	499,6
15	994,7	931,1	931,1	454,2	499,6
30	953,9	908,4	931,1	442,9	431,5
45	931,1	908,4	931,1	442,9	431,5
60	931,1	908,4	931,1	408,8	411,1
75	897,0	953,8	919,8	408,8	409,9
90	931,1	953,8	919,8	408,8	476,9
105	931,1	953,8	919,8	404,2	-
120	931,1	953,8	908,4	-	-
MD. 1	999,24	933,63	924,80	433,76	451,44
MD. 2		929,22 ± 40,67		433,76 ± 33,09	451,65 ± 36,93

LEGENDA: MD. 1 (Média das Vazões obtidas durante cada teste), MD. 2 (Média das Vazões dos três testes com seus respectivos desvios padrões).

As Figuras 59 e 60 mostram a variação das vazões de permeado e vazão total do sistema respectivamente para todos os testes relacionados na Tabela 31.

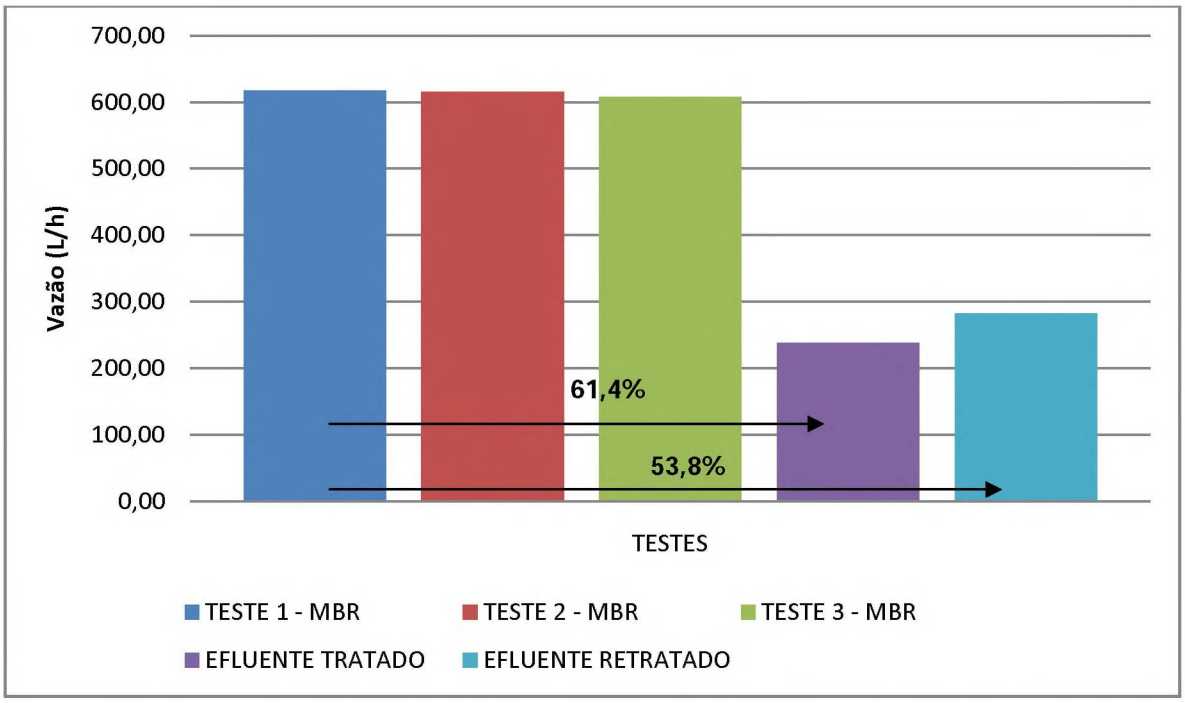


FIGURA 59 - VARIAÇÃO DAS VAZÕES DE PERMEADO NOS TESTES COM OS EFLUENTES TRATADO PELO MBR, EFLUENTES TRATADO PELA EMPRESA E EFLUENTE RETRATADO, TODOS COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

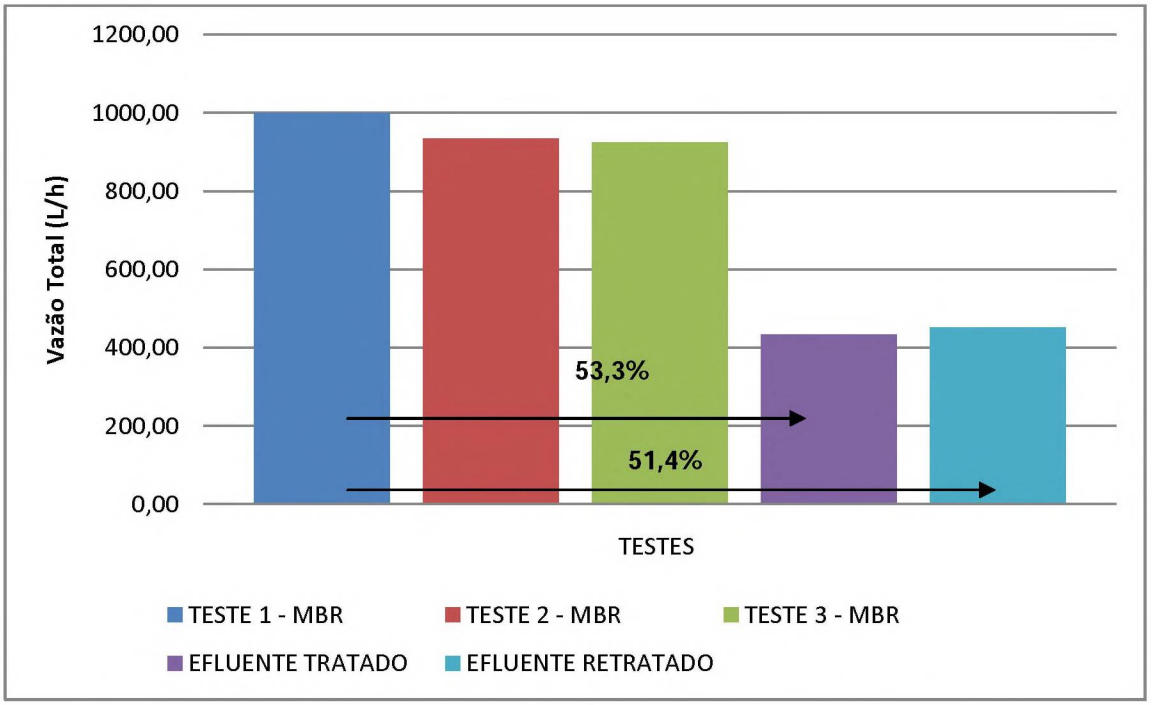


FIGURA 60 - VARIAÇÃO DAS VAZÕES TOTAIS NOS TESTES COM OS EFLUENTES TRATADO PELO MBR, EFLUENTES TRATADO PELA EMPRESA E EFLUENTE RETRATADO, TODOS COM TAXA DE RECUPERAÇÃO DE 65%.

Na Tabela 32 são mostrados a qualidade de efluente bruto de cada um dos efluentes utilizados neste estudo.

TABELA 32 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA DOS DIFERETES EFLUENTES BRUTOS QUE ALIMENTARAM O SISTEMA DE OR COM TAXA DE RECUPERACÃO DE 65%.

Parâmetros	Unidade	E.T. PELO MBR	E. T.	E. R.
Condutividade	µS/cm	5013,3 ± 1055,1	14590	10590
DQO	mg/L	197,3± 58,7	983,0	662,0
Nitrato	mg/L	314,93 ± 22,68	659,0	185,0
Cloreto	mg/L	669,89 ± 60,10	2715,30	1958,64
Dureza	mg/L	823,4 ± 158,05	2460,0	1760,0
Alcalin	mg/L	435,16 ± 87,70	626,20	2060,0
COT	mg/L	27,43 ± 5,61	695,73	149,82
SST	mg/L	0	193,0	70,0
STD	mg/L	2810,0 ± 1055,1	8230	5790
Amônia	mg/L	14,23 ± 3,80	8,08	16,88
Ferro	mg/L	3,49 ± 0,25	28,6	2,32
Mn	mg/L	0,13 ± 0,21	0,743	0,0329
Sódio	mg/L	597,7 ± 4,20	1232,0	1459,6
Alumínio	mg/L	0,147 ± 0,020	1,10	3,29
Cor	Hz	333 ± 57	600	1000

LEGENDA: E.T. (Efuente tratado); E.R. (Efluente Retratado).

Observa-se que os efluentes tratado e retratado apresentam valores parecidos para todos os compostos, com exceção do COT, que apresentou um valor 78,5% menor no efluente retratado, e da alcalinidade, que por sua vez, apresentou um valor 69,6% maior neste último. A redução de DQO do efluente tratado para o retratado foi em torno de 32,0% acompanhada de uma redução de cloretos de 27%, reforçando a suposição de Linde et al. de que estes parâmetros estão relacionados.

Ao comparar ambos os efluentes com o efluente tratado pelo MBR, a concentração de todos os constituintes se apresenta bem maior. Em decorrência disso, observa-se uma maior tendência ao *fouling* e *scaling* no efluente tratado e retratado evidenciado pela rápida queda na vazão de permeado ao longo do tempo.

O efluente tratado pelo MBR operou continuamente durante 15 horas até que a vazão total do sistema e a vazão de permeado sofressem uma queda de 20% do valor inicial obtido na operação. Já os efluentes tratados pela ETE da empresa e retratado apresentaram esta queda em 105 e 90 minutos de operação contínua. A rápida queda detectada no efluente retratado pode estar relacionada ao valor de alcalinidade extremamente alto, o que, segundo Marcelo Toste, responsável pela ETE do centro de tratamento resíduos sólidos de Nova Iguaçu, consiste em um agravante na queda da vazão de permeado. Porém, igualmente como os estudos de

Qin *et al.* (2005), embora a água produzida pela MBR apresente um pequeno potencial ao fouling, este sistema consiste em um pré-tratamento capaz de produzir água nas qualidades adequadas para o tratamento por OR.

Além disso, após este período foi efetuado a lavagem química das membranas e após este procedimento suas vazões iniciais de operação não foram mais atingidas, indicando um prejuízo permanente nas membranas.

Quanto à presença de SS nas águas de alimentação vale ressaltar que, nos testes realizados com o efluente tratado pelo MBR não houve a necessidade da troca do filtro de cartucho uma vez que a membrana de UF que compõe o sistema de MBR antecedente ao filtro de cartucho tem uma porosidade menor que este último, removendo partículas de até 0,03 µm, segundo o fabricante da membrana. Já o efluente tratado apresentou em sua composição partículas suspensas de diâmetro tanto maiores como também menores que 1,0 µm, pois além do filtro de cartucho saturar, uma grande turbidez foi observada nas amostras de rejeito indicando a concentração elevada de sólidos nesta corrente, o que provavelmente colaborou para o *fouling* e o *scaling* detectados nos testes com o efluente. O efluente retratado igualmente apresentou turbidez na corrente de rejeito, porém a maior parte dos sólidos presentes nesta água bruta foram removidos pelo filtro de cartucho, o que provocou sua saturação em um período extremamente curto. Pela análise das águas de entrada

5.7 EFLUENTE TRATADO PELO MBR COM DIFERENTES A/M NO INTERIOR DO REATOR

Os testes para as três condições de A/M impostas no reator de membrana foram aplicados com a taxa de recuperação de 65%.

Igualmente aos outros testes, foram coletadas amostras de três pontos: (1) da água de alimentação, ou efluente tratado obtido quando diferentes condições biológicas foram atingidas no MBR; (2) do permeado e (3) do rejeito gerado pela OR.

Os valores de pH, temperatura, condutividade, STD e turbidez dos testes realizados são apresentados nas Tabelas 33, 34 e 35.

Em todos os testes o pH apresentou valores aproximadamente constantes durante a operação da OR, independente se a água de alimentação apresentava valores mais próximos de 8,5, como nos testes com o valor de A/M igual a 2, ou 7,5, como os outros testes com valores de A/M iguais a 0,3 e 0,4. O pH das amostras de permeado apresentaram em sua maioria valores maiores que a água de alimentação e o pH das amostras de rejeito valores muito próximos desta ou menores.

A temperatura manteve-se praticamente constante durante os 120 minutos de filtração em todos os testes, com valores maiores que a temperatura da água de alimentação.

TABELA 33 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR SOB A CONDIÇAO DE A/M APLICADA NO MBR IGUAL A 0,2.

Tempo (min)	Parâmetros				
	pH	Temp (℃)	Cond. (µS/cm)	STD(mg/L)	Turbidez (NTU)
TESTE 1					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,57	22,4	5590	2930	0,69
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	9,49	23,3	392	187	0,12
30	9,27	23,8	401	191	0,12
60	9,15	23,9	397	191	0,15
90	9,28	23,6	371	177	0,16
120	9,46	23,9	380	181	0,15
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,58	23,9	15470	8730	0,89
30	8,53	24,5	16020	9060	0,92
60	8,52	24,4	15580	8800	0,9
90	8,59	23,5	15470	8740	0,94
120	8,62	23,8	15440	8720	0,91
TESTE 2					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	8,05	21,4	4930	2570	0,61
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	7,75	23	251	120	0,13
30	7,03	22,5	246	117	0,09
60	7,42	22,7	240	114	0,10
90	7,24	23,6	234	111	0,18
120	7,32	24,3	236	112	0,16
AMOSTRA DO REJEITO					
15	8,06	22,5	12710	7110	0,77
30	7,95	22,1	12770	7150	0,79
60	8,00	24,2	12770	7140	0,82
90	8,10	23,9	12760	7140	0,83
120	8,30	23,4	12760	7140	0,81

TABELA 34 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR SOB A CONDIÇAO DE A/M APLICADA NO MBR IGUAL A 0,3.

Tempo(min)	Parâmetros				
	pH	Temp (℃)	Cond. (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)
TESTE 1					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	7,7	19,4	5900	3080	1,05
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	6,98	20,2	317	151	0,16
30	8,16	20,8	278	132	0,20
60	8,3	20,7	281	133	0,15
90	8,3	20,8	275	131	0,11
120	8,28	20,5	273	130	0,15
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,41	20,5	14840	8320	1,12
30	7,59	21,2	14200	7960	0,98
60	7,66	21,3	14210	7900	1,14
90	7,66	21,2	14200	7960	0,95
120	7,65	21,7	14160	7930	0,94
TESTE 2					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	7,72	19,8	6180	3270	1,08
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	8,02	21,2	263	125	0,13
30	8,25	21,2	260	124	0,12
60	8,4	20,8	255	121	0,12
90	8,27	21,2	256	122	0,14
120	8,44	21,7	254	121	0,14
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,56	21,4	14250	8020	0,89
30	7,59	21,4	14190	7950	0,96
60	7,65	21,5	14100	7920	0,96
90	7,58	21,5	14220	7990	1,05
120	7,64	22	14330	8020	0,92

Nestes testes também foi possível observar a ocorrência da polarização por concentração, visto que os STD e, consequentemente, a condutividade; apresentaram valores maiores nos primeiros 30 minutos de operação, indicando uma maior passagem de soluto pela membrana durante o início de sua operação. Após este período os valores mantiveram-se praticamente constantes, apresentando redução média de 95,0% de condutividade e remoções em torno de 95,0% dos STD na condição de operação de A/M igual de 0,2 e 97,5% nas condições de A/M de 0,3 e 0,4.

A turbidez do permeado apresentou valores bem baixos, estando estes na faixa de 0,11 a 0,26 em todos os testes. A eficiência média de remoção foi, portanto, de 79,7% para os testes com valores de A/M iguais a 0,2, 85,3% para os testes quando os valores de A/M era de 0,3, e 90,4% para valores de A/M iguais a 0,4.

TABELA 35 - PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE OR SOB A CONDIÇAO DE A/M APLICADA NO MBR IGUAL A 0,4.

Tempo (min)	Parâmetros				
	pH	Temp (℃)	Cond.(µS/cm)	STD(mg/L)	Turbidez (NTU)
TESTE 1					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	7,87	21,5	5260	2720	1,55
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	8,84	22,5	255	122	0,16
30	8,94	23,1	259	123	0,14
60	8,64	21,4	261	123	0,19
90	8,75	23,2	253	120	0,14
120	8,78	23,4	249	118	0,11
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,57	22,6	12900	7080	1,12
30	7,72	23,6	13060	7160	1,11
60	7,41	21,2	12980	7180	1,19
90	7,53	23,3	12900	7160	1,09
120	7,58	23,6	12900	7160	1,08
TESTE 2					
AMOSTRA DA ALIMENTAÇÃO					
0 (Bruto)	7,75	20,3	5590	2090	1,55
AMOSTRA DO PERMEADO					
15	8,74	21,4	277	130	0,13
30	8,72	22,2	271	128	0,11
60	8,79	21,6	266	126	0,11
90	8,89	22,7	260	123	0,11
120	8,96	22,4	255	121	0,12
AMOSTRA DO REJEITO					
15	7,51	21,8	13790	7660	1,22
30	7,53	22,7	13860	7670	1,15
60	7,56	22,4	13720	7660	1,10
90	7,58	22,8	13630	7620	1,05
120	7,63	22,8	13580	7590	1,00

As Figuras 61 e 62 apresentam a variação de condutividade e STD obtida nas diferentes condições aplicadas. Nestas figuras se observa mais claramente a similaridade na remoção de sais dissolvidos, e na conseqüente redução de condutividade, através da OR para as três diferentes águas de alimentação. Os parâmetros de pH, temperatura e turbidez também apresentaram o mesmo comportamento para as três águas de alimentação distintas durante os 120 minutos de filtração.

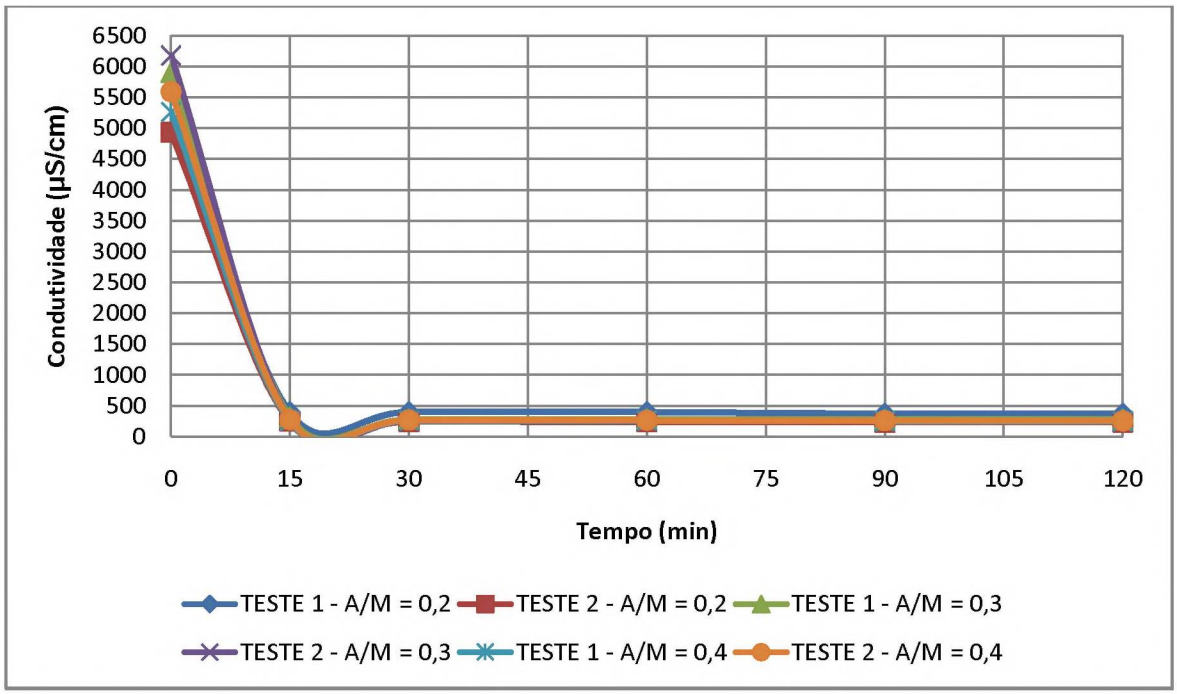


FIGURA 61 - VARIAÇAO DA CONDUTIVIDADE SOB AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR QUE GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR.

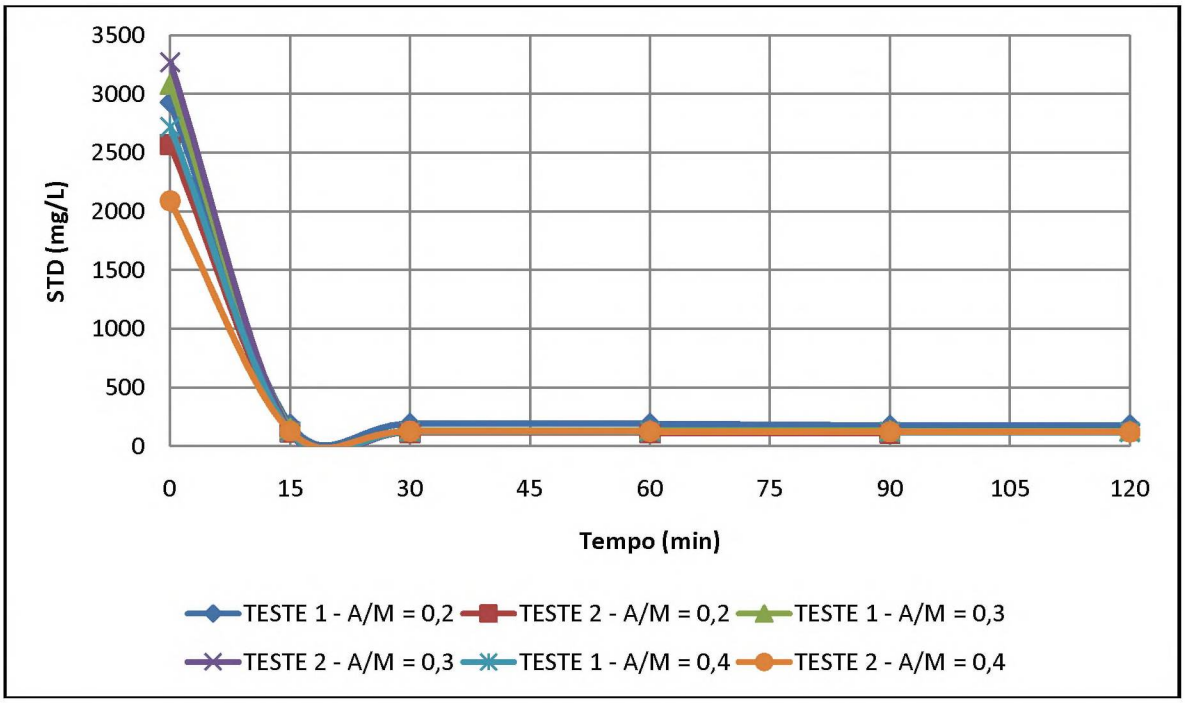


FIGURA 62 - VARIAÇAO DOS STD SOB AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR QUE GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR.

As vazões obtidas para o permeado e o rejeito durante o processo de filtração são apresentadas na Tabela 36.

TABELA 36 - VARIAÇÃO DAS VAZÕES DE PERMEADO E REJEITO PARA OS TESTES1 E 2 EFETUADOS COM OS DIFERENTES A/M.

Tempo (min)	Vazão (L/h)					
	A/M = 0,2		A/M = 0,3		A/M = 0,4	
	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 1	TESTE 2
AMOSTRA DE PERMEADO						
0	635,8	613,1	363,3	363,3	408,7	397,4
15	631,3	613,1	363,3	363,3	408,7	397,4
30	635,8	590,4	363,3	363,3	408,7	386,0
45	613,1	590,4	363,3	363,3	408,7	386,0
60	613,1	590,4	352,0	363,3	408,7	386,0
75	590,4	635,8	352,0	340,6	408,7	386,0
90	613,1	635,8	352,0	340,6	408,7	386,0
105	613,1	635,8	340,6	340,6	397,4	374,7
120	613,1	635,8	340,6	340,6	397,4	374,7
AMOSTRA DE REJEITO						
0	363,3	317,9	204,3	204,3	227,1	204,3
15	363,3	317,9	204,3	204,3	227,1	204,3
30	317,9	317,9	204,3	204,3	227,1	204,3
45	317,9	317,9	204,3	204,3	215,7	204,3
60	317,9	317,9	193,0	204,3	215,7	204,3
75	306,5	317,9	193,0	204,3	215,7	204,3
90	317,9	317,9	193,0	204,3	215,7	204,3
105	317,9	317,9	193,0	204,3	204,3	204,3
120	317,9	317,9	193,0	204,3	204,3	204,3

Com relação a vazão de entrada e as vazões de permeado e de rejeito, foi observado uma diferença na vazão de entrada do sistema, nos testes com A/M 0,3 e 0,4 em relação ao teste com A/M igual a 0,2. Porém esta redução não ocorreu devido aos diferentes A/M aplicados, e sim pelo fato dos testes com os A/M iguais a 0,3 e 0,4 terem sido realizados após o teste com o efluente tratado, indicando, novamente, um possível *fouling* permanente na membrana resultante dos testes com este efluente, representado pela redução em torno de 38,6% entre os dois primeiros testes e os subseqüentes.

Este deficiência irreversível causado na estrutura da membrana pode ser observada igualmente pela análise das pressões de entrada e saída, as quais obtiveram um ΔP na faixa de 0,5 a 0,75 kgf/cm² nos testes sob a condição de A/M igual a 0,2 e valores iguais a 1,0 ou > 1,0 kgf/cm² para os testes sob as condições de A/M iguais a 0,3 e 0,4.

Ao longo do processo de filtração tanto a vazão de permeado, quanto a vazão total do sistema variaram muito pouco, como observado nas Figuras 63 e 64.

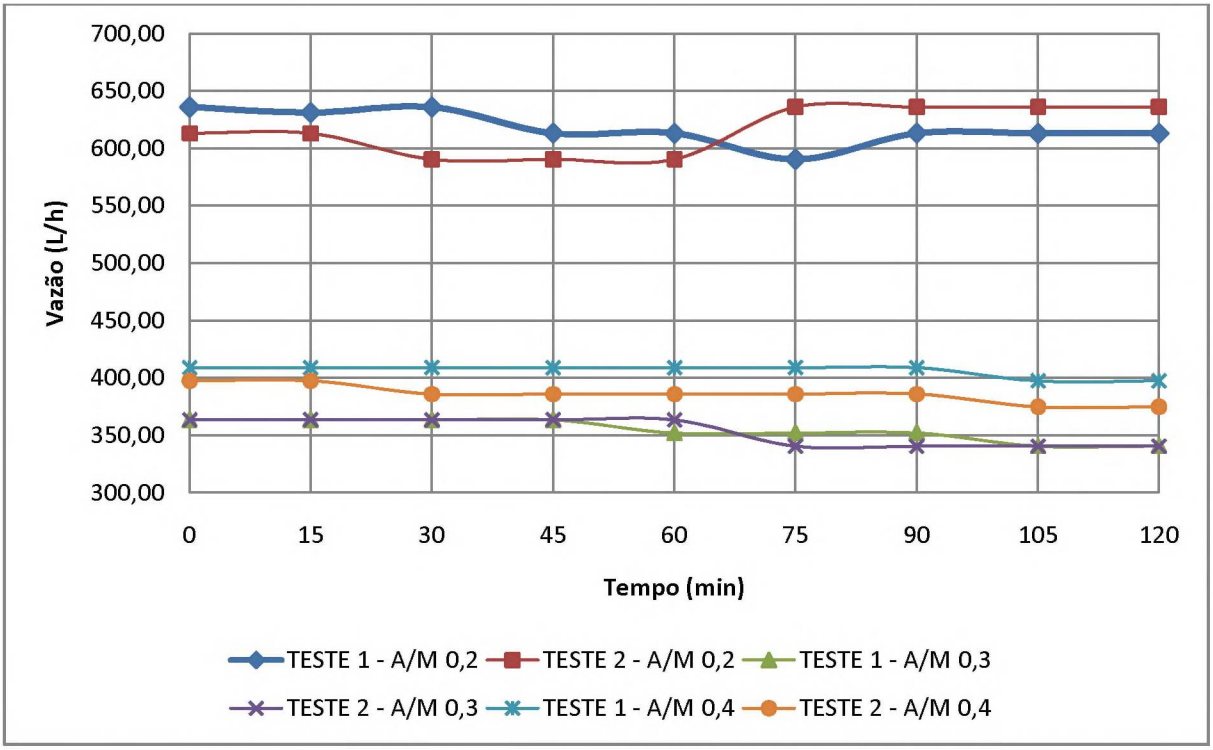


FIGURA 63 - VARIAÇAO DA VAZÃO DE PERMEADO DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR AS QUAIS GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR.

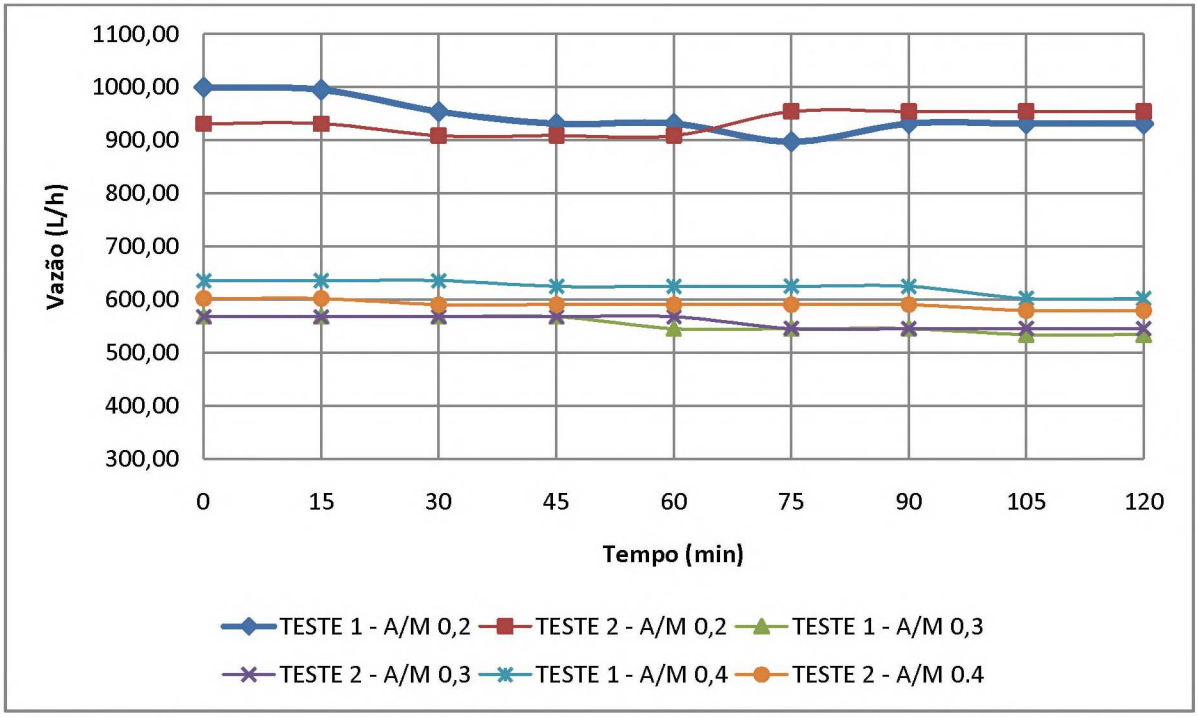


FIGURA 64 - VARIAÇAO DA VAZÃO TOTAL DO SISTEMA DURANTE OS TESTES COM AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR AS QUAIS GERARAM A ÁGUA DE ALIMENTAÇAO PARA A OR.

Ao comparar os 4 últimos testes, no teste 1 em que a OR operou com o efluente da condição A/M igual a 0,4, foi observada a menor salinidade juntamente com a maior temperatura do efluente comparado aos outros 3. Portanto, estes dois fatores provavelmente colaboraram para que durante a operação o fluxo fosse maior que os obtidos nos outros 3 testes aplicados.

As Tabelas 37 e 38 mostram respectivamente os resultados das análises realizadas no efluente bruto e no permeado durante os testes bem como suas respectivas taxas de remoção.

Embora observadas algumas variações nos parâmetros de entrada da OR, principalmente de DQO, as taxas de remoção obtidas foram muito próximas, indicando que não houve interferência no desempenho da OR devido a imposição de diferentes condições biológicas no sistema de MBR.

TABELA 37 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS COMPOSTOS ANALISADOS NO EFLUENTE BRUTO E NO PERMEADO SOB AS DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS APLICADAS.

Parâmetros	Un.	E.R. Lit. (%)	E.R. (%)					
			A/M = 0,2		A/M = 0,3		A/M = 0,4	
DQO	mg/L	85 -95(*)	74,13%	92%	90,48%	100%	96,72%	100%
Cloretos	mg/L	92 - 98	98,98%	98,99%	97,90%	97,44%	95,82%	95,22%
Dureza	mg/L	93 - 99	>99,89%	99,65%	>99,88	99,57%	99,66%	98,92%
Alcalinidade	mg/L	96 - 99	94,70%	95,19%	95,05%	95,64%	92,75%	92,08%
COT	mg/L	85 – 95(*)	91,12%	97,51%	-	-	-	-
Amônia	mg/L	90 - 98	85,76%	88,66%	76,90%	81,75%	83,19%	82,09%
Ferro	mg/L	96 - 98	>99,97%	>99,97%	21,05%	21,05%	99,57%	99,98%
Manganês	mg/L	96 - 98	>99,99%	>99,73%	>74,35	>87,65	>96,87	>98,64
Sódio	mg/L	92 - 98	92,52%	95,80%	95,19%	95,55%	96,15%	96,63%
Alumínio	mg/L	96 - 98	>92,54%	>93,83%	31,15%	31,92%	98,84%	99,44%
Cor	Hz	90 – 96 (**)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

FONTE: AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇAO FORAM OBTIDAS NA LITERATURA DE KUCERA (2010), SENDO ESTAS AS CAPACIDADES DE REJEIÇAO OBTIDAS PELA MAIORIA DAS MEMBRANAS COMPOSTAS DE POLIAMIDA EM SISTEMAS DE OR, A UMA TEMPERATURA AMBIENTE.

LEGENDA: (*) Estas eficiências foram fornecidas por Whitley Burchett & Associados (1999) adaptado por Metcalf & Eddy (2004), referente a operação de sistema de OR na Estação de Tratamento Sanitário de Dublin-San Ramon, no período de 4/1999 a 12/1999. (**) Eficiência extraída do trabalho de Ushikoshi et al. (2002) sobre sistema de OR para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.E.R. (Eficiência Remoção); E.R.Lit. (Eficiência de Remoção na Literatura); S.R (Sem Referência).

TABELA 38 - ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DURANTE A OPERAÇÃO DA OSMOSE REVERSA SOB AS DIFERENTES CONDIÇOES DE A/M APLICADAS NO MBR.

Parâmetros	Unidade	CONDIÇÕES OPERACIONAIS											
		A/M = 0,2				A/M = 0,3				A/M = 0,4			
		BRUTO	PER.	BRUTO	PER.	BRUTO	PER.	BRUTO	PER.	BRUTO	PER.	BRUTO	PER.
DQO	mg/L	179	46,3	150	12	63	6	166,7	< 1,0	600	19,7	315	< 1,0
Cloretos	mg/L	736,24	7,53	619,11	6,27	556,00	6,07	648,90	7,23	735,36	9,65	652,36	6,46
Dureza	mg/L	960,0	< 1	860,0	3,0	872,0	< 1	756,3	2,0	896,3	3,0	906,5	< 1
Alcalinidade	mg/L	496,47	26,31	474,30	22,81	316,30	16,32	349,98	19,30	469,46	23,54	389,15	20,65
COT	mg/L	21,68	1,93	27,73	0,69	79,37	-	92,20	-	56,72	-	44,52	-
Amônia	mg/L	16,98	2,42	9,90	1,12	16,53	3,82	20,10	3,67	44,65	7,51	57,16	10,24
Ferro	mg/L	3,495	< 0,001	3,730	< 0,001	1,90	1,50	1,90	1,50	0,4226	0,0018	0,4326	0,0001
Manganês	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,380	< 0,001	0,039	< 0,01	0,081	< 0,01	0,0032	< 0,0001	0,0074	< 0,0001
Sódio	mg/L	592,0	44,3	598,0	25,1	856,0	41,2	871,0	38,8	717,6	27,6	779,4	26,3
Alumínio	mg/L	0,134	<0,01	0,162	<0,01	1,300	0,895	1,30	0,885	0,4908	0,0057	0,5574	0,0031
Cor	Hz	400	0	300	0	300	0	400	0	250	0	180	0

LEGENDA: PER. (AMOSTRA DE PERMEADO).

5.8 RESULTADO DO ESTUDO PERSPECTIVO DO REJEITO COM O JAR TEST.

Os resultados para estes testes são apresentados na Tabela 39. Todos os testes apresentaram uma boa resposta para a floculação e decantação, porém os flocos formados eram constituídos basicamente dos produtos químicos adicionados. Isto se deve ao fato do rejeito ser composto principalmente por sais dissolvidos que foram removidos da água bruta e que, por sua vez, não são removidos pelo processo de Coagulação/Floculação/Decantação.

Quanto à DQO do rejeito, a qual apresentou o valor de 958 mg/L nas amostras utilizadas no teste, não foi obtido sucesso em sua redução. Inclusive, o efeito observado na maioria dos testes foi o contrário. Apenas uma amostra apresentou valor de DQO menor que a do descarte, sendo esta redução em torno de 16,5%. Nos outros quatro testes as amostras apresentaram valores na faixa de 980 a 1145 mg/L, ou seja, em média 13,5% maiores que a DQO do descarte.

Portanto o tratamento do rejeito por um processo físico-químico não consiste em uma solução para sua disposição.

TABELA 39 - CONCENTRAÇÕES DOS PRODUTOS QUÍMICOS ADICIONADOS DURANTE O ENSAIO DE JAR-TEST E SEUS DESEMPENHOS.

TESTE	pH_i	pH_c	pH_f	Hidróxido de Sódio (ppm)	Sulfato de Alumínio Ferroso (ppm)	Polieletrólito Aniônico (ppm)	DQO_f (mg/L)
1	7,62	9,22	9,38	1800	75	2	1145
2	7,76	9,14	8,94	1500	150	2	980
3	7,62	9,21	9,15	1800	250	2	1225
4	7,76	9,13	8,86	1500	300	2	800
5	7,62	9,24	9,06	1800	400	2	1040

LEGENDA: pH_i: pH do rejeito; pH_c: pH após correção com cal ou soda; pH_f: após o teste.

6 CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos, nas metodologias aplicadas e nos resultados e discussões abordadas conclui-se que a osmose reversa, independente da qualidade do efluente de alimentação, possui alta eficiência na remoção da DQO e de outros compostos, com capacidade de adequar todos os efluentes testados aos padrões de lançamento determinados pela resolução N°357 do CONAMA e ao limite de DQO de 300 mg/L.

Durante os testes com taxa de recuperação de 65%, o efluente após tratamento por MBR apresentou concentrações de STD, condutividade e DQO em torno de 2670 mg/L, 5200 µS/cm e 197,3 ± 58,7 mg/L respectivamente, e remoções em torno de 95% para os dois primeiros parâmetros e 88% para o parâmetro DQO. Nos efluentes tratado por lodos ativados pela ETE da empresa e efluente retratado por processo físico-químico os valores de STD e DQO apresentaram valores mais elevados. Para os STD e DQO as concentrações respectivamente encontradas foram em torno de 8230 mg/L e 1000 mg/L para o primeiro e, 5790 mg/L e 700 mg/L para o segundo. Contudo, as remoções de STD para o efluente tratado e retratado respectivamente foram de 87% e 94% e a de DQO em torno de 98% e 99%.

Porém, embora as remoções tenham apresentado valores altos, entre 85-99%, a qualidade do efluente tratado por lodos ativados pela ETE da empresa e do efluente retratado apresentaram elevado potencial de *scaling* e *fouling*.

A colmatação das membranas por estes efluentes se deu, respectivamente em 90 e 75 minutos de filtração. O possível *scaling* ocorreu, principalmente, devido as altas concentrações de dureza e alcalinidade, cujos valores encontrados foram em torno de 2460 mg/L e 626 mg/L para o efluente tratado e 1760 mg/L e 2060 mg/L para o efluente retratado. Já o *fouling* pode ter sido provocado pela presença de SST e COT em ambas as águas nas concentrações de 193 mg/L e 70 mg/L para o efluente tratado e 695 mg/L e 150 mg/L. Os altos valores de cor, em torno de 1000 Hz para ambos os efluentes, também pode ter contribuído para esta rápida colmatação.

Além disso, após a realização das lavagens químicas para posterior retorno ao processo de filtração, as vazões inicias não foram mais obtidas. A redução da vazão total observada durante a operação com o efluente tratado foi em torno de 16% e com o efluente retratado de 7%. Isto indica que a membrana foi prejudicada de modo permanente e que a aplicação desta tecnologia para tratamento destes efluentes é inviável.

Para viabilizar a sua operação deverá ser instalado um pós-tratamento, de modo a adequar estas águas aos padrões de alimentação de um sistema de osmose reversa.

Além disso, uma vez que o efluente retratado é obtido após submeter o efluente tratado pela ETE da empresa a um pós tratamento, conclui-se que o processo físico químico aplicado não consiste em um tratamento adequado para tal finalidade. A utilização de carvão ativado em pó e de sulfato de alumínio nesta etapa provocou, ainda, o entupimento dos filtros de cartucho e o aumento deste metal pesado na água.

Já com o efluente tratado pelo sistema de MBR os resultados indicam que, uma vez que o sistema agrega ao tratamento biológico a tecnologia membranas de ultrafiltração, a remoção de SS é total, e o MBR apresenta-se como um pré-tratamento adequado para o sistema de osmose reversa. A redução de vazão total em 120 minutos de operação foi em torno de 4% e a lavagem química das membranas foi necessária somente após 15 horas de filtração.

Porém o efluente ainda apresenta um potencial ao *fouling* e ao *scaling*. Conclui-se, portanto, que é indispensável a dosagem de produtos anti-incrustante anteriormente ao sistema. A dosagem de hipoclorito de sódio, com o intuito de reduzir a proliferação de microorganismos e a redução do pH para valores próximos a 6,5, também se fazem necessários.

Ainda com relação a esta água, os resultados obtidos devido a mudanças de fatores biológicos no interior do MBR, indicaram que as variações efetuadas geraram efluentes tratados com uma composição muito similar um do outro, não impactando na operação da osmose reversa.

Quanto ao rejeito gerado pelo sistema, o tratamento físico-químico não consiste no processo adequado para seu tratamento, apresentando resultados ruins, com valores de DQO em torno de 1000 mg/L.

Além disso, a qualidade da água produzida pela OR permite, ainda, que seja adotada a prática de reuso internamente na empresa para fins não potáveis, conforme os critérios determinados pela US.EPA (2004). Esta água, portanto, pode ser reutilizada para lavagens de pisos, irrigação de jardins, descargas sanitárias, torres de resfriamento, prevenção contra incêndio, entre outras atividades que estejam enquadradas em reuso planejado de águas não potáveis.

Seu alto potencial de remoção de resíduos e sua capacidade de gerar uma água tratada de extrema qualidade promovem uma crescente adoção desta tecnologia, a qual já é esta instalada em inúmeras plantas de tratamento para lixiviado, principalmente nos países Asiáticos e Europeus.

7 RECOMEDAÇÕES

No sentido de aprimorar o estudo efetuado no Centro de Tratamento e Disposição de Resíduos em questão, recomenda-se para pesquisas futuras:

a) Promover um estudo com o sistema de osmose reversa operando continuamente.
b) Testar outros pHmetros, de preferência de alta impedância, de modo a verificar o que apresenta maior precisão de medição.
c) Realizar algumas intervenções operacionais no sistema de maneira a promover o reciclo de parte do rejeito gerado, misturando-o com a água de alimentação. Com isto, verificar se há uma melhora operacional no sistema e um aumento no tempo de filtração até que seja necessária a lavagem química das membranas.
d) Testar diferentes produtos anti-incrustantes na água de alimentação de modo a verificar o que melhor se adéqua a este efluente. As dosagens de hipoclorito de sódio e pH também deverão ser testadas para verificar se há um incremento no tempo entre as lavagens químicas.
e) Verificar algumas técnicas de pôs-tratamento do efluente tratado tais como, sistema de microfiltração, sistema de flotação e sistema de abrandamento, de modo a adequar o descarte aos padrões recomendados para tratamento por osmose reversa.
f) Testar técnicas de tratado do rejeito como: processo oxidativo avançado, tratamento térmico através do envio do descarte para secador e ou através da sua queima.
g) Desenvolver um estudo quanto a viabilidade econômica deste empreendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: **Resíduos Sólidos Classificação**. Rio de Janeiro, pp. 71,2004.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2009 – Disponível em: http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/abr_nacional.htm. Acessado em 10/11/2009.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2009 – Disponível em: http:conjuntura.ana.gov/conjuntura/rh_asudeste.htm. Acessado em 10/11/2009.

AHN, W.Y.; KANG, M. S.; YIM, S. K.; CHOI, K. H.; **Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process**; Desalination, vol. 149, pp. 109-114, 2002.

ASANO, T., **Wastewater reclamation and Reuse,** Water Quality Management Library**,** Thecnomic Publishing Co. Inc.: Lancaster, PA, vol. 10, 1998.

ASANO, T.; LEVINE A. D., **Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future.** Water Science and Technology: Grã Bretanha, v. 33, n. 10-11, pp. 1-14, 1996.

BAKER, J. S.; DUDLEY, L. Y., **Biofouling in membrane system – A review**, Desalination, vol. 118, pp. 81-90, 1998.

BARBOSA, A.; Engenheiro da empresa SANITHEC ENG. AMBIENTAL S/S LTDA, CONTATO PESSOAL, 2010.

BEM, C.; DOMBROSKI L. F., **Manual de Procedimentos Laboratoriais Integra-Clima Sul aplicado ao monitoramento de parâmetros associados à qualidade da água em corpos aquáticos**, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Hidráulica e Saneamento – DHS, Laboratório de Engenharia Ambiental Borsari Neto, Curitiba, 2010.

BOUHABILA, E. H.; AIM, R. B.; BUISSON, H., **Fouling characterisation in membrane bioreactors,** Separation and Purification Technology, vol.22-23, pp. 123-132, 2001.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**.

Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2005

CHIANESE A.; RANAURO R.; VERDONE N., **Treatment of landfill leachate by Reverse Osmosis**, Water Research, vol. 33, pp. 647-652, 1999.

CISA, **Purification of Landfill Leachate with Membrane Filtration**, Filtration & Separation, pp. 33-36, 1998.

DANCOR, Soluções Inteligentes em Bombeamento e Tratamento de Líquidos, acesso ao site para obtenção das informações referentes as bombas utilizadas na unidade piloto, disponível em: http://www.dancor.com.br/, 2010.

DEGRÉMONT, **WATER TREATMENT HANDBOOK**, Degrémont, Volume 1, 1995.

EIDOS PRODUCTS, Ecologix, Manual sobre o MBR enviado pela fabricante, Taiwan, 2001.

ENVIRONQUIP – ENGENHARIA DE SISTEMA AMBIENTAIS, Fluxograma do Sistema de Tratamento do Centro de Tratamento de Resíduos onde o trabalho foi executado, 2010.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, **Guidelines for Water Reuse,** EPA/625/R-04/108 Washington, DC, September, 2004.

ESCOBAR, I. C.; HONG, S.; RANDALL, A. A., **Removal of assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon by reverse osmosis and nanofiltration membranes**, Journal of Membrane Science, vol. 175, pp.1-17, 2000

ESSENCIS – Soluções Ambientais – Quem Somos – Disponível em http://www.essencis.com.br/quem-somos Acessado em: 30/06/2009

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS– **Cada gota es importante, Roma, 2005** – Disponível em http://www.fao.org/newsroom/es/news/2007/1000494/index.html. Acessado em 09/11/2009.

FILMTEC REVERSE OSMOSIS MEMBRANES: TECHNICAL MANUAL, Dow Water & Process Solutions, 2010.

GABELICH, C. J.; YUN, T. I; COFFEY B. M; SUFFET I.H., **Pilot-scale testing of reverse osmosis using conventional treatment and microfiltration**, Desalination, vol. 154, pp. 207-223, 2003.

GANDER, M.; JEFFERSON, B.; JUDD, S., **Aerobic MBR´s for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations,** Separation and Purification Technology, vol. 18, pp. 119-130, 2000.

GOMES E.A., **Tratamento Combinado da Água produzida de Petróleo por Eletroflotação e Processo Fenton**, Dissertação de Mestrado**,** Aracaju: Universidade Tiradentes, 2009.

GE Water, Water and Process Technologies, acesso ao site para obtenção das características do produto anti-incrustante aplicado no trabalho, disponível em: http://www.gewater.com/pdf/what_we_do/boiler_solutions/fact_sheets/Hypersperse-factsheet.pdf. Acessado em 02/10/2009.

HABERT A. C.; BORGES C.P.; NOBREGA, R., **Processos de Separação por Membranas**, Série Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, E-papers Serviços Editariais Ltda., 2006.

HESPANHOL, I.; MIERZWA J. C., **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso;** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

HUBER S. A.; **Evidence for membrane fouling by specific TOC constituents;** Desalination, vol. 119, pp. 229-234, 1998.

HUCHLER, L., **Improving Reverse Osmosis Performance**, Chemical Engineering Process (CEP), pp. 40-44, 2010.

HUGHES, R,; SCOTT, K., **Industrial Membrane Separation Technology;** Blackie Academic & Professional, 1996.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Contagem da população 2007** – Disponível em http://www.ibge.gov.br. Acessado em 09/11/2009.

JONHSON, W.T.; PHELPS, R.W. & BEATSON, P.J. Water reuse using membranes, IDA World Congress, Madrid, Spain, vol. 2, pp. 611-619, citado por: SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas Filtrantes para Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reuso**, 1ª ed, São Paulo: ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001

JORDÃO, E. P.; ARRUDA, C. N., **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 5ª ed., Rio de Janeiro, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

JUDD, S.; JEFFERSON, B., **Membranes for Industrial wastewater Recovery and Re-use**, Elsevier, 2003.

KIMURA, K.; YAMATO, N.; YAMAMURA, H.; WATANABE, Y., **Membrane Fouling in Pilot Scale Membrane Bioreactors (MBR´s) Treating Municipal Wastewater**, Environmental Science & Technology, vol. 39, pp. 6293-6299, 2005.

KUCERA, J., **Reverse Osmosis Design, Process, and Applications for Engineers**, Jonh Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scrievener Publishing LLC, Salem, Massachusetts, 2010.

LI, N.; FANE, A. G; HO, W.S.; MATSURA, T. **Advanced Membrane Technology and Aplications**; John Wiley Sons, Inc., Hadoken, New Jersey, 2008.

LINDE, K.; JONSSON, A.; WIMMERSTEDT, R., **Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis**, Desalination, vol. 101, pp. 21-30, 1995.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F., **Reúso de Água**. Barueri, SP: NISAM – USP, 2003.

MELIN, T.; JEFFERSON, B.; BIXIO, D.; THOEYE, C.; WILDE, W. De; KONING, J. De; GRAAF J. Van Der; WINTGENS, T.; **Membrane Bioreactor technology for wastewater treatment and reuse**, Desalination, vol. 187, pp. 271-282, 2006.

METCALF & EDDY INC. **Wastewater engineering: Treatment and Reuse**, 4TH ed, New York: McGraw-Hill, 2003.

METCALF & EDDY INC. **Water Reuse Issue, Technology and Applications,** 1TH ed, New York: McGraw-Hill, 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria nº 518, de 25 de Março de 2004, **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Disponível em http://www.agrolab.com.br/portaria%20518_04.pdf.

MULDER, M., **Basic Principles of Membrane Technology**, Kluwer Academic Publishers, 1996.

NATH, K. **Membrane Separation Process**, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, 2008.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**, 4ª ed, Aracaju,SE: Gráfica Editora J. Andrade Ltda., 2004.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Efluente Industriais**, 3ª ed, Aracaju,SE: Gráfica e Editora Triunfo Ltda, 2001.

OENNING JUNIOR, A **Avaliação de tecnologias avançadas para o reuso de água em indústria metal-mecânica,** Dissertação de Mestrado**,** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

PALMA, L. D.; FERRANTELLI, P; MERLI, C.; PETRUCCI, E.; **Treatment of industrial landfill by means of evaporation and reverse osmosis;** Waste Management, vol. 22, pp. 951-955, 2002.

PAWLOWSKY, U. **Apostila da disciplina Tratamento de Efluentes**, Curitiba: PPGREHA/Universidade Federal do Paraná, 2008.

PEARSE, G**., Introduction to membranes: An introduction to membrane bioreactors**, Filtration and Separation, January/February, pp. 32-35, 2008.

PERVOV, A., G., **A simplified RO process design based on understanding of fouling mechanisms**, Desalination, vol. 126, pp. 227-247, 1999.

PETERS, T, **Purification of Landfill Leachate with Membrane Technology**, Water Quality International, vol 9-10, pp.23-26, 1996.

PORTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA, Processos de Separação por Membranas, Disponível em: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=57&Itemid=206. Acessado em: 23/10/2010.

QIN, J. J.; KEKRE, K. A.; OO, M. H.; WAI, M. N.; LEE, T. C.; SEAH, H., **New Option of MBR-RO process for production of NEWater from domestic sewage**, Journal of Membrane Science, vol. 272, pp. 70-77, 2006.

ROSENBERGER S.; LAABS C.; LESJEAN, B.; GNIRSS, G.; AMY G.; JEKEL, M.; SCHROTTER J.C., **Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment**, Water Research, vol. 40, pp. 710-720, 2006.

SABESP – **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Uso Racional da Água,** disponível em http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=0&proj=pura&pub=T&db=. Acessado em: 30/06/2009.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas Filtrantes para Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reuso**, 1ª ed, São Paulo: ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

SCHNEIDER, R. P.; **CURSO MEMBRANAS FILTRANTES**, Organização: Portal Tratamento de Água, São Paulo 2009.

SEADER, J.D; HENLEY, E.J, **Separations Process Principles**, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 1998.

STEPHENSON, T.; JUDD, S.; JEFFERSON, B.; BRINDLE, K., **Membrane bioreactors for wastewater treatment**. London: IWA Publishing, 2000, citado por: METCALF & EDDY, INC, **Wastewater engineering: treatment and reuse**, 4th. ed. – New York: McGraw-Hill, 2003.

TAM L.S; TANG T.W.; LAU G.N; SHARMA K.R.; G.H. CHEN**, A pilot for wastewater reclamation and reyse with MBR/RO and MF/RO systems**, Desalination, vol. 202, pp. 106-113, 2007.

TANG, C.Y.; KWON Y.; LECKIE J.O.; **Characterization of Humic Acid Fouled Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes by Transmission Electron Microscopy and Streaming Potential Measurements**, Environmental Science & Technology, vol. 41, pp 942-949, 2007.

TOSTE, M., Centro de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, Contato pessoal em visita a unidade de tratamento, 2010.

TRUSSEL R.S.; ADHAM S., TRUSSEL R., **Process Limits of Municipal Wastewater Treatment with the Submerge Membrane Bioreactor**, Journal of Environmental Engineering ASCE, pp. 410-416, 2005.

USHIKOSHI, K.; KOBAYASHI, T.; UEMATSU, K.; TOJI, A.; KOJIMA, D.; MATSUMOTO, K., **Leachate treatment by reverse osmosis system, Desalination**, vol. 150, pp. 121-129, 2002.

VAN DIJK, L.; RONCKEN, G.C.G., **Membrane bioreactors for wastewater treatment: The state of the art and new developments,** Water Science and Technology, vol. 35, pp. 35-41, 1997**.**

VISÃO AMBIENTAL – **Água: Nosso Bem Maior**, Ano 1 – nº1 - Junho/Julho 2009.

VON SPERLING, M., **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 2ª ed., Belo Horizonte, Departamento de Engenharia e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 1996

WAGNER, M.; CORNEL, P.; KRAUSE, S., **Efficiency of different aeration system in full scale membrane bioreactors**, Institut WAR, Section Wastewater Technology, 2002.

WHO - World Health Organization, **Guidelines for the Safe Use of Wastewater.**

WINSTON HO W.S.; SINKAR K.K., **Membrane Handbook**, Chapman & Hall, New York, NY, 1992.

YAMOTO, K.; HIASA, H.; TALAT, M.; MATSUO, T., **Direct solid liquid separations using hollow fiber membranes in activated sludge aeration tank**, Water Science Technology, 1989.

YANG W.; CICEK N.; ILG J.; **State-of-the-art of membrane bioreactors: Worldwide research and commercial applications in North America**, Journal of Membrane Science, vol. 270, pp. 201-211, 2006.

YPORÃ, Fabricante de osmose reversa, Santa Catarina, SC, contato Engº. Cícero Franco, 2010.

ZHU, X.; ELIMELECH, M., **Colloidal Fouling of Reverse Osmosis Membranes: Measurements on Fouling Mechanism**, Environmental Science & Technology, vol. 31, pp. 3654-3662, 1997.

APÊNDICE A - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%.

Parâmetros	Unidade	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
		BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)
DQO	mg/L	374	0	100,0%	124,5	0	100,0%	270	31,5	88,3%
DBO	mg/L	44,0	0	100,0%	16,5	2,0	87,9%	25,0	2,0	92,0%
Fosfato	µg/L	0,5794	0,3922	32,3%	0,4623	0,0307	93,4%	0,2989	0,0085	97,2%
Nitrato	mg/L	404,79	13,99	96,5%	203,53	6,71	96,7%	335,17	15,84	95,3%
Cloreto	mg/L	807,36	23,84	97,0%	460,15	7,53	98,4%	652,58	4,06	99,4%
Dureza	mg/L	1120	4	99,6%	260	< 1	>99,6	760	< 1	>99,8%
Alcalin	mg/L	594,71	33,33	94,4%	425,34	14,03	96,7%	370,26	19,30	94,8%
COT	mg/L	33,180	4,170	87,4%	16,530	1,016	93,9%	35,330	0,514	98,5%
SST	mg/L	0	0	-	0	0	-	0	0	-
Amônia	mg/L	42,57	4,60	89,2%	5,88	2,42	60,0%	5,54	0,44	92,0%
Ferro	mg/L	1,184	< 0,001	99,9%	1,935	< 0,001	99,9%	7,110	< 0,001	100,0%
Mn	mg/L	1,160	< 0,001	99,9%	0,159	< 0,001	99,4%	0,459	< 0,001	99,8%
Zn	mg/L	1,457	< 0,001	99,9%	0,467	< 0,001	99,8%	1,008	< 0,001	99,9%
Ni	mg/L	3,360	< 0,001	99,9%	3,710	< 0,001	99,9%	3,850	0,051	98,7%
Sílica	mg/L	5	< 1	>82,0%	4	< 1	>75,0%	6	< 1	>83,3%
Bário	mg/L	0,039	<0,01	>74,0%	0,018	<0,01	>44,4%	0,04	<0,01	>75,0%
Sódio	mg/L	735	32,7	95,6%	254	15,5	93,9%	788	23,4	97,0%
Alumínio	mg/L	0,203	<0,01	>95,0%	0,038	<0,01	>73,7%	0,314	<0,01	>96,8%
Colif Totais	NMP/100ml	N.A.	N.A.	-	N.A	N.A.	-	10,9	< 1	> 90,8%
Colif Fecais	NMP/100ml	N.A.	N.A.	-	N.A	N.A.	-	2	< 1	> 50,0%
Cor	Hazen	650	0	100,0%	180	0	100,0%	300	0	100,0%

Legenda: E.R. (Eficiência Remoção); N.A. (Não avaliado).

APÊNDICE B – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.

Parâmetros	Unidade	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
		BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)
DQO	mg/L	179	46,3	74,1%	150	12	92,0%	263	13	95,1%
DBO	mg/L	13,5	1,0	92,6%	25,0	0,0	100,0%	23,0	1,0	95,7%
Fosfato	µg/L	1,0613	0,0186	98,2%	0,2223	0,0507	77,2%	0,2568	0,0598	76,7%
Nitrato	mg/L	340,60	27,29	92,0%	297,63	15,87	94,7%	306,55	18,51	93,9%
Cloreto	mg/L	736,24	7,53	99,0%	619,11	6,27	99,0%	654,32	6,49	99,7%
Dureza	mg/L	960,0	< 1	>99,9%	860,0	3,0	99,7%	650,3	2,0	99,7%
Alcalin	mg/L	496,47	26,31	94,7%	474,30	22,81	95,2%	334,70	21,60	93,5%
COT	mg/L	21,680	1,925	91,1%	27,730	0,689	97,5%	32,880	0,624	98,1%
SST	mg/L	0	0	100,0%	0	0	100,0%	0	0	100,0%
Amônia	mg/L	16,98	2,42	85,8%	9,90	1,12	88,7%	15,80	2,23	85,6%
Ferro	mg/L	3,495	< 0,001	>99,9%	3,730	< 0,001	>99,9%	3,237	< 0,001	>99,9%
Mn	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,0%	0,380	< 0,001	>99,7%	0,018	< 0,001	>94,4%
Zn	mg/L	0,699	< 0,001	>99,8%	0,920	< 0,001	>99,9%	0,483	< 0,001	>99,8%
Ni	mg/L	3,075	< 0,001	>99,9%	3,295	0,014	>99,6%	1,922	< 0,001	>99,9%
Sílica	mg/L	5,0	<1	>80%	7,0	< 1	>85,7%	5,0	< 1	>80%
Bário	mg/L	0,018	<0,01	>80%	0,053	<0,01	>81,1%	0,023	<0,01	>56,5%
Sódio	mg/L	592,0	44,3	92,5%	598,0	25,1	95,8%	603,1	23,2	95,8%
Alumínio	mg/L	0,134	<0,01	>92,5%	0,162	<0,01	>93,8%	0,145	<0,01	>93,1%
Colif Totais		N.A.	N.A.	-	N.A	N.A.	-	1	< 1	>99,9%
Colif Fecais	NMP/100ml	N.A.	N.A.	-	N.A	N.A.	-	2,7	< 1	>99,9%
Cor	Hz	400	0	100,0%	300	0	100,0%	300	0	100,0%

APÊNDICE C – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 75%.

Parâmetros	Unidade	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
		BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)
DQO	mg/L	98,0	29,3	70,1%	100,0	32,3	67,7%	252,0	11,0	95,6%
DBO	mg/L	19,0	2,0	89,5%	15,0	2,0	86,7%	30,0	1,0	96,7%
Fosfato	mg/L	0,5829	0,0335	94,3%	0,0543	0,0321	40,9%	0,2137	0,0296	86,1%
Nitrato	µg/L	192,65	12,66	93,4%	328,02	29,29	91,1%	359,73	31,06	91,4%
Cloreto	mg/L	485,25	7,53	98,4%	635,85	10,46	98,4%	594,01	9,62	98,4%
Dureza	mg/L	680,0	< 1	>99,8%	880,0	2,0	99,8%	644,2	0,2	100,0%
Alcalin	mg/L	389,64	15,79	95,9%	377,40	21,05	94,4%	316,20	17,54	94,5%
COT	mg/L	10,91	1,13	89,6%	28,14	1,03	96,3%	22,05	0,62	97,2%
SST	mg/L	0	0	100,0%	0	0	100,0%	0	0	100,0%
Amônia	mg/L	2,46	0,74	69,9%	6,79	1,12	83,5%	2,91	0,44	84,9%
Ferro	mg/L	1,630	< 0,001	>99,9%	5,754	0,019	99,7%	4,625	< 0,001	99,8%
Mn	mg/L	< 0,001	< 0,001	> 99,9%	0,590	< 0,001	>99,8%	0,432	< 0,001	99,8%
Zn	mg/L	0,293	< 0,001	>99,6%	1,015	< 0,001	>99,9%	1,023	< 0,001	99,9%
Ni	mg/L	2,901	< 0,001	>99,9%	3,555	< 0,001	>99,9%	3,265	< 0,001	100,0%
Sílica	mg/L	3,0	< 1	>66,7%	6,0	< 1	>83,3%	7,0	< 1	85,7%
Bário	mg/L	<0,01	<0,01	> 99,9%	0,045	<0,01	>77,7%	0,034	<0,01	70,6%
Sódio	mg/L	237,0	26,0	89,0%	655,0	43,4	93,4%	658,0	38,1	94,2%
Alumínio	mg/L	0,048	<0,01	>79,2%	0,242	<0,01	>95,9%	0,279	<0,01	96,4%
Colif Totais	NMP/100ml	N.A.	N.A.	-	N.A.	N.A.	-	1	< 1	> 99,9%
Coliformes	NMP/100ml	N.A.	N.A.	-	N.A.	N.A.	-	4,1	< 1	> 75,6%
Cor	Hz	50,0	0,0	100,0%	300,0	0,0	100,0%	300,0	0,0	100,0%

APÊNDICE D - CONDUTIVIDADE OBTIDA NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR.

Tempo (min)	Taxa de Recuperação = 50%				Taxa de Recuperação = 65%				Taxa de Recuperação = 75%			
	TESTE 1											
	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)
0 (Bruto)	6100		-	-	5590				3350		-	-
15	248	11630	95,93%	47,55%	392	15470	92,99%	63,87%	170,6	11610	94,91%	71,15%
30	255	11510	95,82%	47,00%	401	16020	92,83%	65,11%	160,2	11600	95,22%	71,12%
60	243	11610	96,02%	47,46%	397	15580	92,90%	64,12%	159,2	11900	95,25%	71,85%
90	220	11620	96,39%	47,50%	371	15470	93,36%	63,87%	157,5	12000	95,30%	72,08%
120	225	11020	96,31%	44,65%	380	15440	93,20%	63,80%	160	12120	95,22%	72,36%
MD. 1	238,2	11478,0	96,10%	46,83%	388,2	15596,0	93,06%	64,15%	161,5	11846,0	95,18%	71,71%
	TESTE 2											
0 (Bruto)	3420		-	-	4930		-	-	4930		-	-
15	98,7	6460	97,11%	47,06%	251	12710	95,51%	61,21%	251	12710	92,51%	61,21%
30	94,2	6450	97,25%	46,98%	246	12770	95,60%	61,39%	246	12770	92,66%	61,39%
60	92,1	6460	97,31%	47,06%	240	12770	95,71%	61,39%	240	12770	92,84%	61,39%
90	91,5	6460	97,32%	47,06%	234	12760	95,81%	61,36%	234	12760	93,01%	61,36%
120	92,6	6410	97,29%	46,65%	236	12760	95,78%	61,36%	236	12760	92,96%	61,36%
MD. 1	93,8	6448,0	97,26%	46,96%	241,4	12754,0	95,68%	61,35%	241,4	12754,0	92,79%	61,35%
	TESTE 3											
0 (Bruto)	5350		-	-	4970		-	-	4850		-	-
15	203	9900	96,21%	45,96%	272	11910	95,13%	58,27%	358	14830	89,31%	67,30%
30	198,3	9900	96,29%	45,96%	268	11990	95,21%	58,55%	351	14910	89,52%	67,47%
60	196,5	9840	96,33%	45,63%	263	12130	95,30%	59,03%	346	15111	89,67%	67,90%
90	184,7	9670	96,55%	44,67%	270	11900	95,17%	58,24%	341	15100	89,82%	67,88%
120	190,5	9990	96,44%	46,45%	262	12130	95,31%	59,03%	339	15190	89,88%	68,07%
MD. 1	194,6	9860,0	96,36%	45,73%	267,0	12012,0	95,22%	58,62%	347,0	15028,2	89,64%	67,72%
MD. 2	-	-	96,57%	46,51%	-	-	94,65%	61,37%	-	-	92,54%	66,93%

Legenda: E.R. (Eficiência de remoção); P.C. (Percentual de concentração); MD. 1 (Média dos valores obtidos separadamente em cada teste); MD. 2 (Média das eficiências dos três testes aplicados).

APÊNDICE E - STD OBTIDOS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELO MBR.

Tempo (min)	Taxa de Recuperação = 50%				Taxa de Recuperação = 65%				Taxa de Recuperação = 75%			
	TESTE 1											
	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)
0	3800		-	-	2930				1700		-	-
15	118	6430	96,89%	40,90%	187	8730	93,62%	66,44%	81	6450	95,24%	73,64%
30	121	6290	96,82%	39,59%	191	9060	93,48%	67,66%	76	6450	95,53%	73,64%
60	114	6450	97,00%	41,09%	191	8800	93,48%	66,70%	75	6650	95,59%	74,44%
90	112	6430	97,05%	40,90%	177	8740	93,96%	66,48%	75	6680	95,59%	74,55%
120	110	6090	97,11%	37,60%	181	8720	93,82%	66,40%	76	6780	95,53%	74,93%
MD. 1	115,0	6338,0	96,97%	40,02%	185,4	8810,0	93,67%	66,74%	76,6	6602,0	95,49%	74,24%
	TESTE 2											
0 (Bruto)	1740		-	-	2570		-	-	2570		-	-
15	47	3450	97,11%	49,57%	120	7110	95,90%	63,85%	120	7110	92,94%	63,85%
30	45	3430	97,25%	49,27%	117	7150	96,01%	64,06%	117	7150	93,12%	64,06%
60	44	3430	97,31%	49,27%	114	7140	96,11%	64,01%	114	7140	93,29%	64,01%
90	43	3430	97,32%	49,27%	111	7140	96,21%	64,01%	111	7140	93,47%	64,01%
120	44	3410	97,29%	48,97%	112	7140	96,18%	64,01%	112	7140	93,41%	64,01%
MD. 1	44,6	3430,0	97,26%	49,27%	114,8	7136,0	96,08%	63,99%	114,8	7136,0	93,25%	63,99%
	TESTE 3											
0 (Bruto)	2790		-	-	2510		-	-	2510		-	-
15	96	5410	96,21%	48,43%	129	6590	95,60%	61,91%	171	8370	89,94%	70,01%
30	95	5420	96,29%	48,52%	127	6990	95,67%	64,09%	168	8430	90,12%	70,23%
60	93	5400	96,33%	48,33%	125	7060	95,73%	64,45%	166	8540	90,24%	70,61%
90	88	5280	96,55%	47,16%	128	6950	95,63%	63,88%	163	8530	90,41%	70,57%
120	91	5460	96,44%	48,90%	124	7070	95,77%	64,50%	162	8550	90,47%	70,64%
MD. 1	92,6	5394,0	96,36%	48,27%	126,6	6932,0	95,68%	63,77%	166,0	8484,0	90,24%	70,41%
MD. 2	-	-	96,86%	45,85%	-	-	95,14%	64,83%	-	-	92,99%	69,55%

Legenda: MD. 1 (Média dos valores obtidos separadamente em cada teste); MD. 2 (Média das eficiências dos três testes aplicados).

APÊNDICE F – VARIAÇÃO DAS VAZÕES NOS TESTES REALIZADOS COM O MBR.

Tem. (min)	TX. RECUPERAÇÃO = 50%			TX. RECUPERAÇÃO = 65%			TX. RECUPERAÇÃO = 75%		
	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3
AMOSTRA DE PERMEADO									
0	590,5	635,9	590,5	635,9	613,2	613,2	601,8	635,9	545,0
15	590,5	635,9	590,5	631,3	613,2	613,2	601,8	590,5	545,0
30	590,5	635,9	590,5	635,9	590,5	613,2	590,5	601,8	545,0
45	590,5	635,9	567,8	613,2	590,5	613,2	590,5	590,5	545,0
60	590,5	635,9	567,8	613,2	590,5	613,2	590,5	590,5	545,0
75	590,5	635,9	545,0	590,5	635,9	601,8	590,5	590,5	522,3
90	590,5	635,9	567,8	613,2	635,9	613,2	590,5	590,5	522,3
105	590,5	635,9	567,8	613,2	635,9	601,8	590,5	590,5	522,3
120	590,5	635,9	567,8	613,2	635,9	590,5	590,5	590,5	522,3
MD. 1	590,46	635,88	576,27	617,71	615,69	608,12	592,98	596,77	534,95
MD. 2	599,71 ± 32,54			613,84 ± 5,06			574,90 ± 34,65		
AMOSTRA DE REJEITO									
0	590,5	635,9	590,5	363,4	317,9	317,9	227,1	204,4	204,4
15	590,5	635,9	590,5	363,4	317,9	317,9	227,1	181,7	204,4
30	590,5	635,9	590,5	317,9	317,9	317,9	227,1	204,4	181,7
45	590,5	635,9	567,8	317,9	317,9	317,9	204,4	204,4	181,7
60	545,0	635,9	567,8	317,9	317,9	317,9	204,4	204,4	181,7
75	590,5	635,9	567,8	306,6	317,9	317,9	204,4	204,4	181,7
90	590,5	635,9	567,8	317,9	317,9	306,6	204,4	204,4	181,7
105	590,5	635,9	590,5	317,9	317,9	317,9	204,4	204,4	181,7
120	590,5	635,9	567,8	317,9	317,9	317,9	204,4	204,4	181,7
VAZÃO TOTAL DO SISTEMA									
0	1180,9	1271,8	1180,9	999,2	931,1	931,1	828,9	840,3	749,4
15	1180,9	1271,8	1180,9	994,7	931,1	931,1	828,9	772,1	749,4
30	1180,9	1271,8	1180,9	953,8	908,4	931,1	817,6	806,2	726,7
45	1180,9	1271,8	1135,5	931,1	908,4	931,1	794,9	794,9	726,7
60	1135,5	1271,8	1135,5	931,1	908,4	931,1	794,9	794,9	726,7
75	1180,9	1271,8	1112,8	897,0	953,8	919,8	794,9	794,9	704,0
90	1180,9	1271,8	1135,5	931,1	953,8	919,8	794,9	794,9	704,0
105	1180,9	1271,8	1158,2	931,1	953,8	919,8	794,9	794,9	704,0
120	1180,9	1271,8	1135,5	931,1	953,8	908,4	794,9	794,9	704,0
MD. 1	1180,9	1271,8	1150,6	944,48	933,63	924,80	804,9	798,6	721,8
M.D 2	1201,11 ± 63,03			934,31 ± 9,86			775,08 ± 46,36		

Legenda: MD. 1 (Média das Vazões obtidas durante cada teste), MD. 2 (Média das Vazões dos três testes com seus respectivos desvios padrões); Tem (Tempo).

APÊNDICE G – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS TESTES COM O EFLUENTE TRATADO PELA ETE DA EMPRESA E TAXA DE RECUPERAÇAO DE 50%.

Parâmetros	Unidade	TESTE 1			TESTE 2			TESTE 3		
		BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R. (%)
DQO	mg/L	1088,0	5,0	99,5%	1088,0	0,0	100,0%	1088,0	4,6	99,6%
DBO	mg/L	95,0	0,0	100,0%	95,0	0,0	100,0%	95,0	0,0	100,0%
Nitrato	µm/L	645,00	169,00	73,8%	645,00	166,00	74,3%	645,00	182,00	71,8%
Fosfato	µm/L	2,3621	0,0051	99,8%	2,3621	0,0022	99,9%	2,3621	0,0053	99,8%
Cloreto	mg/L	2071,00	70,70	96,6%	2071,00	62,33	97,0%	2071,00	64,00	96,9%
Dureza	mg/L	2320,0	9,0	99,6%	2320,0	10,0	99,6%	2320,0	7,0	99,7%
Alcalin	mg/L	737,30	42,42	94,2%	737,30	33,84	95,4%	737,30	33,84	95,4%
COT	mg/L	1502,58	0,06	100,0%	1502,58	0,10	100,0%	1502,58	5,38	99,6%
SST	mg/L	298	0,0000	100,0%	298	0,0000	100,0%	298	0,0000	100,0%
Amônia	mg/L	16,20	3,76	76,8%	16,20	2,40	85,2%	16,20	2,14	86,8%
Ferro	mg/L	73,800	< 0,001	100,0%	73,800	< 0,001	100,0%	73,800	< 0,001	100,0%
Mn	mg/L	0,478	< 0,001	99,8%	0,478	< 0,001	99,8%	0,478	< 0,001	99,8%
Zn	mg/L	3,803	< 0,001	100,0%	3,803	< 0,001	100,0%	3,803	< 0,001	100,0%
Ni	mg/L	14,535	0,001	100,0%	14,535	0,105	99,3%	14,535	< 0,001	100,0%
Sílica	mg/L	13,0	< 1	>92,3%	13,0	< 1	>92,3%	13,0	< 1	>92,3%
Bário	mg/L	0,078	< 0,01	>87,2%	0,078	< 0,01	>87,2%	0,078	< 0,01	>87,2%
Sódio	mg/L	1923,0	262,0	86,4%	1923,0	262,0	86,4%	1923,0	262,0	86,4%
Alumínio	mg/L	2,900	< 0,01	>99,6%	2,900	< 0,01	>99,6%	2,900	< 0,01	>99,6%
Coli Totais	NMP/100ml	25,6 x 10^2	4,1000	99,8%	25,6 x 10^2	3,0000	99,9%	25,6 x 10^2	< 1	100,0%
Colif Fecais	NMP/100ml	2	< 1	100,0%	2	< 1	100,0%	2	< 1	100,0%
Cor	Hz	900	0	100,0%	900	0	100,0%	900	0	100,0%

Legenda: E.R. (Eficiência Remoção).

APÊNDICE H – CONDUTIVIDADE DOS DIFERENTES EFLUENTES A UMA TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.

Tempo (min)	EFLUENTE TRATADO PELO MBR				EFLUENTE TRATADO				EFLUENTE RETRATADO			
	TESTE 1											
	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)
0	5590		-	-	14590				10590		-	-
15	392	15470	92,99%	63,87%	2080,00	28400,00	85,74%	48,63%	645	23900	93,91%	55,69%
30	401	16020	92,83%	65,11%	1960,00	28200,00	86,57%	48,26%	688	23800	93,50%	55,50%
60	397	15580	92,90%	64,12%	1850,00	27700,00	87,32%	47,33%	690	23100	93,48%	54,16%
90	371	15470	93,36%	63,87%	1797,00	27300,00	87,68%	46,56%	691	23300	93,47%	54,55%
120	380	15440	93,20%	63,80%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 1	388,2	15596,0	93,06%	64,15%	1921,8	27900,0	86,83%	47,69%	678,5	23525,0	93,59%	54,97%
	TESTE 2											
0 (Bruto)	4930		-	-	-		-	-	-		-	-
15	251	12710	97,11%	61,21%	-	-	-	-	-	-	-	-
30	246	12770	97,25%	61,39%	-	-	-	-	-	-	-	-
60	240	12770	97,31%	61,39%	-	-	-	-	-	-	-	-
90	234	12760	97,32%	61,36%	-	-	-	-	-	-	-	-
120	236	12760	97,29%	61,36%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 1	241,4	12754,0	97,26%	61,35%	-	-	-	-	-	-	-	-
	TESTE 3											
0 (Bruto)	4970		-	-	-		-		-		-	
15	272	11910	96,21%	58,27%	-	-	-	-	-	-	-	-
30	268	11990	96,29%	58,55%	-	-	-	-	-	-	-	-
60	263	12130	96,33%	59,03%	-	-	-	-	-	-	-	-
90	270	11900	96,55%	58,24%	-	-	-	-	-	-	-	-
120	262	12130	96,44%	59,03%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 1	267,0	12012,0	96,36%	58,62%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 2	-	-	95,56%	61,37%	-	-	86,83%	47,69%	-	-	93,59%	54,97%

Legenda: E.R. (Eficiência de remoção); P.C. (Percentual de concentração); MD. 1 (Média dos valores obtidos separadamente em cada teste); MD. 2 (Média das eficiências dos três testes aplicados); (-) Teste não realizado.

APÊNDICE I – STD DOS DIFERENTES EFLUENTES A UMA TAXA DE RECUPERAÇAO DE 65%.

Tempo (min)	EFLUENTE TRATADO PELO MBR				EFLUENTE TRATADO				EFLUENTE RETRATADO			
	TESTE 1											
	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)	PERM.	REJ.	E.R. (%)	P.C. (%)
0	2930		-	-	8230,00				5790		-	-
15	187	8730	93,62%	66,44%	1030,00	16200,00	87,48%	49,20%	307	13500	94,70%	57,11%
30	191	9060	93,48%	67,66%	964,00	16000,00	88,29%	48,56%	326	13500	94,37%	57,11%
60	191	8800	93,48%	66,70%	914,00	15800,00	88,89%	47,91%	329	13200	94,32%	56,14%
90	177	8740	93,96%	66,48%	885,00	15500,00	89,25%	46,90%	329	13200	94,32%	56,14%
120	181	8720	93,82%	66,40%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 1	185,4	8810,0	93,67%	66,74%	948,3	15875,0	88,48%	48,14%	322,8	13350,0	94,43%	56,62%
	TESTE 2											
0 (Bruto)	2570		-	-	-		-	-	-		-	-
15	120	7110	97,11%	63,85%	-	-	-	-	-	-	-	-
30	117	7150	97,25%	64,06%	-	-	-	-	-	-	-	-
60	114	7140	97,31%	64,01%	-	-	-	-	-	-	-	-
90	111	7140	97,32%	64,01%	-	-	-	-	-	-	-	-
120	112	7140	97,29%	64,01%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 1	114,8	7136,0	97,26%	63,99%	-	-	-	-	-	-	-	-
	TESTE 3											
0 (Bruto)	2510		-	-	-		-		-		-	
15	129	6590	96,21%	61,91%	-	-	-	-	-	-	-	-
30	127	6990	96,29%	64,09%	-	-	-	-	-	-	-	-
60	125	7060	96,33%	64,45%	-	-	-	-	-	-	-	-
90	128	6950	96,55%	63,88%	-	-	-	-	-	-	-	-
120	124	7070	96,44%	64,50%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 1	126,6	6932,0	96,36%	63,77%	-	-	-	-	-	-	-	-
MD. 2	-	-	95,76%	64,83%	-	-	88,48%	48,14%	-	-	94,43%	56,62%

Legenda: E.R. (Eficiência de remoção); P.C. (Percentual de concentração); MD. 1 (Média dos valores obtidos separadamente em cada teste); MD. 2 (Média das eficiências dos três testes aplicados); (-) Teste não realizado.

APÊNDICE J – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS DIFERENTES EFLUENTES OPERADOS PELA OSMOSE REVERSA, COM TAXA DE 65% DE RECUPERACÃO.

Parâmetros	Un.	EFLUENTE TRATADO PELO MBR			EFLUENTE TRATADO			EFLUENTE RETRATADO		
		BRUTO	PERMEADO	E.R (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R (%)	BRUTO	PERMEADO	E.R (%)
Condutiv.	µS/L	5013,3 ± 1055,1	262,6 ± 115,3	94,8%	14590	1921,4 ± 125,4	86,83%	10590	678,5 ± 22,4	93,6%
DQO	mg/L	197,3± 58,7	23,8 ± 19,5	88,0%	983,0	14,0	98,6%	662,0	0	> 99,9%
Nitrato	mg/L	314,93 ± 22,68	20,56 ± 5,98	93,5%	659,0	133,0	79,8%	185,0	48,7	73,7%
Cloreto	mg/L	669,89 ± 60,10	6,76 ± 0,67	99,0%	2715,3	72,79	97,3%	1958,64	77,42	96,0%
Dureza	mg/L	823,4 ± 158,05	2,5 ± 1,0	99,7%	2460,0	8,0	99,7%	1760,0	18,0	99,0%
Alcalin	mg/L	435,16 ± 87,70	23,57 ± 2,45	94,6%	626,20	38,89	93,8%	2060,0	120,0	94,2%
COT	mg/L	27,43 ± 5,61	1,08 ± 0,73	96,1%	695,73	0,4357	99,9%	149,82	10,74	92,8%
SST	mg/L	0	0	100,0%	193,0	0	100,0%	70,0	0	100,0%
STD	mg/L	2810,0 ± 1055,1	125,7 ± 55,2	95,5%	8230	948,2 ± 63,5	88,48%	5790	322,7 ± 10,6	94,4%
Amônia	mg/L	14,23 ± 3,80	1,92 ± 0,7	86,5%	8,08	2,11	73,9%	16,88	5,50	67,4%
Ferro	mg/L	3,49 ± 0,25	0,001 ± 0,0	> 99,9%	28,6	0,086	99,7%	2,32	< 0,0001	> 99,9%
Mn	mg/L	0,13 ± 0,21	0,001 ± 0,0	> 99,5%	0,743	< 0,001	>99,9%	0,0329	0,0053	>99,9%
Sódio	mg/L	597,7 ± 4,20	30,90 ± 11,7	94,8%	1232,0	90,6	92,6%	1459,6	90,6	93,8%
Alumínio	mg/L	0,147 ± 0,020	0,01 ± 0,0	>93,2%	1,10	0,0107	99,0%	3,29	0,0107	99,7%
Cor	Hz	333,3 ± 57,7	0,0 ± 0,0	100,0%	600	0	100,0%	1000	0	100,0%

Legenda: E.R. (Eficiência Remoção).

ANEXO A - RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005.

Art. 23. As águas salobras de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

I - pH: 5 a 9;

II - OD, em qualquer amostra, não inferior a 3 mg/L O_2;

III - óleos e graxas: toleram-se iridescências;

IV - materiais flutuantes: virtualmente ausentes;

V - substâncias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;

VI - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;

VII - coliformes termotolerantes: não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com freqüência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente; e

VIII - carbono orgânico total até 10,0 mg/L, como C.

CAPÍTULO IV

DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Art. 24. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento:

I - acrescentar outras condições e padrões, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais, mediante fundamentação técnica; e

II - exigir a melhor tecnologia disponível para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo curso de água superficial, mediante fundamentação técnica.

Art. 25. É vedado o lançamento e a autorização de lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos nesta Resolução.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, excepcionalmente, autorizar o lançamento de efluente acima das condições e padrões estabelecidos no art. 34, desta Resolução, desde que observados os seguintes requisitos:

I - comprovação de relevante interesse público, devidamente motivado;

II - atendimento ao enquadramento e às metas intermediárias e finais, progressivas e obrigatórias;

III - realização de Estudo de Impacto Ambiental-EIA, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento;

IV - estabelecimento de tratamento e exigências para este lançamento; e

V - fixação de prazo máximo para o lançamento excepcional.

Art. 26. Os órgãos ambientais federal, estaduais e municipais, no âmbito de sua competência, deverão, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não no art. 34, desta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas pelo enquadramento para o corpo de água.

§ 1º No caso de empreendimento de significativo impacto, o órgão ambiental competente exigirá, nos processos de licenciamento ou de sua renovação, a apresentação de estudo de capacidade de suporte de carga do corpo de água receptor.

§ 2º O estudo de capacidade de suporte deve considerar, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos pela classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, estimando a concentração após a zona de mistura.

§ 3º Sob pena de nulidade da licença expedida, o empreendedor, no processo de licenciamento, informará ao órgão ambiental as substâncias, entre aquelas previstas nesta Resolução para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no seu efluente.

§ 4º O disposto no § 1º aplica-se também às substâncias não contempladas nesta Resolução, exceto se o empreendedor não tinha condições de saber de sua existência nos seus efluentes.

Art. 27. É vedado, nos efluentes, o lançamento dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs mencionados na Convenção de Estocolmo, ratificada pelo Decreto Legislativo nº 204, de 7 de maio de 2004.

Parágrafo único. Nos processos onde possa ocorrer a formação de dioxinas e furanos deverá ser utilizada a melhor tecnologia disponível para a sua redução, até a completa eliminação.

Art. 28. Os efluentes não poderão conferir ao corpo de água características em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.

§ 1º As metas obrigatórias serão estabelecidas mediante parâmetros.

§ 2º Para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias, os padrões de qualidade a serem obedecidos são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado.

§ 3º Na ausência de metas intermediárias progressivas obrigatórias, devem ser obedecidos os padrões de qualidade da classe em que o corpo receptor estiver enquadrado.

Art. 29. A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas.

Art. 30. No controle das condições de lançamento, é vedada, para fins de diluição antes do seu lançamento, a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação.

Art. 31. Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes efluentes ou lançamentos individualizados, os limites constantes desta Resolução aplicar-se-ão a cada um deles ou ao conjunto após a mistura, a critério do órgão ambiental competente.

Art. 32. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aqüicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

§ 1º Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente:

I - atender às condições e padrões de lançamento de efluentes;

II - não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência; e

III - atender a outras exigências aplicáveis.

§ 2º No corpo de água em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final.

Art. 33. Na zona de mistura de efluentes, o órgão ambiental competente poderá autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não comprometam os usos previstos para o corpo de água.

Parágrafo único. A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, nos termos determinados pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.

Art. 34. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

§ 1º O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 2º Os critérios de toxicidade previstos no § 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

§ 3º Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos nesta Resolução não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos, não se aplicam os parágrafos anteriores.

§ 4º Condições de lançamento de efluentes:

I - pH entre 5 a 9;

II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura;

III - materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

IV - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

V - óleos e graxas:

1 - óleos minerais: até 20mg/L;

2- óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L; e

VI - ausência de materiais flutuantes.

§ 5º Padrões de lançamento de efluentes:

TABELA X - LANÇAMENTO DE EFLUENTES PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	**VALOR MÁXIMO**
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo total	0,5 mg/L Cr
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	**VALOR MÁXIMO**
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C_6H_5OH
Tetracloreto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L

Art. 35. Sem prejuízo do disposto no inciso I, do § 1º do art. 24, desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo de água estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes que possam, dentre outras conseqüências:

I - acarretar efeitos tóxicos agudos em organismos aquáticos; ou

II - inviabilizar o abastecimento das populações.

Art. 36. Além dos requisitos previstos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis, os efluentes provenientes de serviços de saúde e estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com microorganismos patogênicos, só poderão ser lançados após tratamento especial.

Art. 37. Para o lançamento de efluentes tratados no leito seco de corpos de água intermitentes, o órgão ambiental competente definirá, ouvido o órgão gestor de recursos hídricos, condições especiais.

CAPÍTULO V

DIRETRIZES AMBIENTAIS PARA O ENQUADRAMENTO

Art. 38. O enquadramento dos corpos de água dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

§ 1º O enquadramento do corpo hídrico será definido pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos.

§ 2º Nas bacias hidrográficas em que a condição de qualidade dos corpos de água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados nos parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais.

§ 3º As ações de gestão referentes ao uso dos recursos hídricos, tais como a outorga e cobrança pelo uso da água, ou referentes à gestão ambiental, como o licenciamento, termos de ajustamento de conduta e o controle da poluição, deverão basear-se nas metas progressivas intermediárias e final aprovadas pelo órgão competente para a respectiva bacia hidrográfica ou corpo hídrico específico.

§ 4º As metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, deverão ser atingidas em regime de vazão de referência, excetuados os casos de baías de águas salinas ou salobras, ou outros corpos hídricos onde não seja aplicável a vazão de referência, para os quais deverão ser elaborados estudos específicos sobre a dispersão e assimilação de poluentes no meio hídrico.

§ 5º Em corpos de água intermitentes ou com regime de vazão que apresente diferença sazonal significativa, as metas progressivas obrigatórias poderão variar ao longo do ano.

§ 6º Em corpos de água utilizados por populações para seu abastecimento, o enquadramento e o licenciamento ambiental de atividades a montante preservarão, obrigatoriamente, as condições de consumo.

CAPÍTULO VI

DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 39. Cabe aos órgãos ambientais competentes, quando necessário, definir os valores dos poluentes considerados virtualmente ausentes.

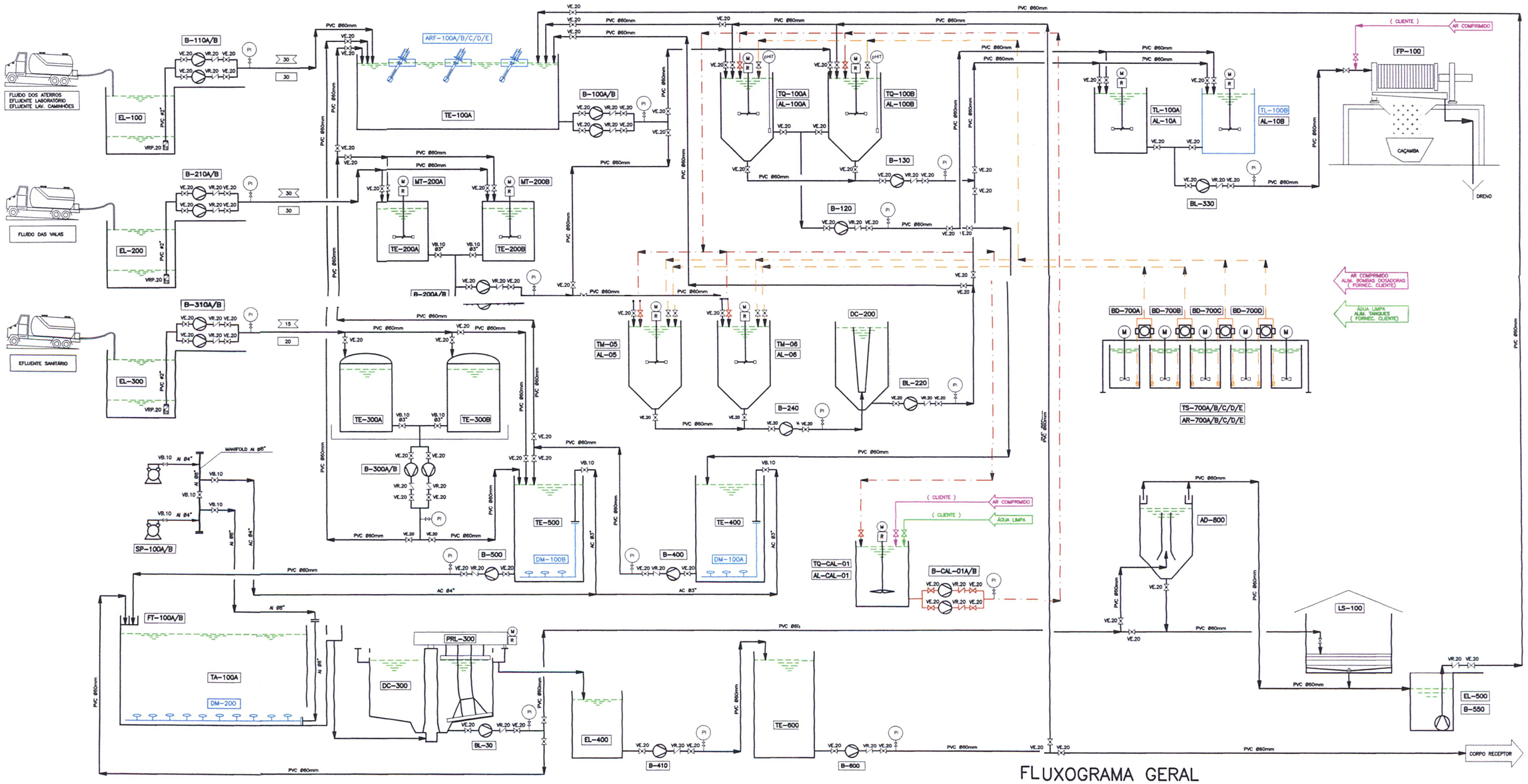
Art. 40. No caso de abastecimento para consumo humano, sem prejuízo do disposto nesta Resolução, deverão ser observadas, as normas específicas sobre qualidade da água e padrões de potabilidade.

Art. 41. Os métodos de coleta e de análises de águas são os especificados em normas técnicas cientificamente reconhecidas.

Art. 42. Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.

Art. 43. Os empreendimentos e demais atividades poluidoras que, na data da publicação desta Resolução, tiverem Licença de Instalação ou de Operação, expedida e não impugnada, poderão a critério do órgão ambiental competente, ter prazo de até três anos, contados a partir de sua vigência, para se adequarem às condições e padrões novos ou mais rigorosos previstos nesta Resolução.

ANEXO B - FLUXOGRAMA DO PROCESSSO DE TRATAMENTO EXISTENTE NA EMPRESA.



FLUXOGRAMA GERAL

ESTE DESENHO FOI GERADO PELO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA ENVIRONQUIP AMBIENTAIS LTDA. SENDO PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL DO MESMO SEM AUTORIZAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS TÉCNICOS, SUJEITANDO O INFRATOR AOS RIGORES DA LEI

COR	PADRÃO	ESP.
1	PRETO	0,15
2	PRETO	0,13
3	PRETO	0,30
4	PRETO	0,15
5	PRETO	0,60
6	PRETO	0,15
7	PRETO	0,15
8	PRETO	0,13
9	COR	0,20
10	COR	0,20
20	COR	0,20
30	COR	0,20
32	COR	0,20
90	COR	0,20
130	COR	0,20
140	COR	0,20
150	COR	0,20
160	COR	0,20
170	PRETO	0,30
210	COR	0,30
251	COR	0,15
254	COR	0,13

EL-100/200/300 A IMPLANTAR
- ELEVATÓRIA DE DESPEJOS
- MATERIAL: CONCRETO ESTRUTURAL IMPERMEABILIZADO
- DIMENSÕES: 12000 x 20000m
- ALTURA ÚTIL: 3000mm
- ALTURA TOTAL: 3400mm
- VOLUME: 720,00 m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TE-100A A IMPLANTAR
- EQUALIZAÇÃO DOS DESPEJOS DE ATERROS, LABORATÓRIOS, LAVAGEM CAMINHÕES
- MATERIAL: CONCRETO ESTRUTURAL IMPERMEABILIZADO
- DIMENSÕES: 12000 x 20000m
- ALTURA ÚTIL: 3000mm
- ALTURA TOTAL: 3400mm
- VOLUME: 720,00 m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TE-200A/B
- EQUALIZAÇÃO DOS DESPEJOS DAS VALAS
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL FECHADO, FUNDO PLANO
- MATERIAL: AÇO CARBONO ASTM A-36
- DIÂMETRO: 3000mm
- ALTURA CILINDRICA: 7300mm
- VOLUME: 50,00 m3
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

TE-300A/B
- EQUALIZAÇÃO DOS DESPEJOS SANITÁRIOS
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL FECHADO, FUNDO PLANO
- MATERIAL: PRFV
- DIÂMETRO: 2500mm
- ALTURA CILINDRICA: 5095mm
- VOLUME: 50,00 m3
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

TQ-100A/B
- TANQUE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL, FUNDO CÔNICO
- MATERIAL: AÇO CARBONO SAE-1020
- DIÂMETRO: 3000mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 1300mm
- ALTURA CONE: 2800mm
- VOLUME TOTAL: 18,00 m3
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

TM-05/06
- TANQUE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL, FUNDO CÔNICO
- MATERIAL: AÇO CARBONO SAE-1020
- DIÂMETRO: 1500mm
- ALTURA ÚTIL: 1800mm
- ALTURA TOTAL: 2250mm
- INCLINAÇÃO FUNDO: 80°
- VOLUME TOTAL: 3,00 m3
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

TS-700A/B/C/D/E
- TANQUES PREPARAÇÃO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL ABERTO, FUNDO PLANO
- MATERIAL: POLIETILENO
- DIÂMETRO: 1050mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 1270mm
- FORNECEDOR: SANINCO
- QUANTIDADE: 05 (CINCO)

TQ-CAL-01
- TANQUE PREPARAÇÃO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL FECHADO, FUNDO PLANCO
- MATERIAL: AÇO CARBONO SAE-1020
- DIÂMETRO: 1300mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 2000mm
- CAPACIDADE: 2500 Litros
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TE-400
- TANQUE EFLUENTE TRATADO FÍSICO-QUIMICAMENTE
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL ABERTO, FUNDO PLANO
- MATERIAL: AÇO CARBONO ASTM A-36
- DIÂMETRO: 4000mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 8000mm
- CAPACIDADE: 100,00m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TE-500
- TANQUE EQUALIZAÇÃO DO TRATAMENTO BIOLÓGICO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL ABERTO, FUNDO PLANO
- MATERIAL: AÇO CARBONO ASTM A-36
- DIÂMETRO: 4000mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 8000mm
- CAPACIDADE: 100,00m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TE-600 A REMANEJAR
- TANQUE EQUALIZAÇÃO DO TRATAMENTO BIOLÓGICO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL FECHADO, FUNDO PLANO
- MATERIAL: AÇO CARBONO ASTM A-36
- DIÂMETRO: 4000mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 8000mm
- CAPACIDADE: 100,00m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TA-100A
- TANQUE DE AERAÇÃO
- MATERIAL: CONCRETO ESTRUTURAL IMPERMEABILIZADO
- COMPRIMENTO: 11700mm
- LARGURA: 11550mm
- ALTURA ÚTIL: 4400mm
- ALTURA TOTAL: 5000mm
- VOLUME ÚTIL: 595,00m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TL-100A TL-100B
- TANQUE DE LODO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL ABERTO, FUNDO PLANO
- MATERIAL: AÇO CARBONO SAE-1020
- DIÂMETRO: 2700mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 2400mm
- CAPACIDADE: 14,00m3
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

DC-200
- DECANTADOR DE LODO FÍSICO-QUÍMICO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL ABERTO, FUNDO CÔNICO
- MATERIAL: AÇO CARBONO SAE-1020
- DIÂMETRO: 2000mm
- ALTURA CILÍNDRICA: 1500mm
- ALTURA TOTAL: 3350mm
- INCLINAÇÃO FUNDO: 60°
- CAPACIDADE: 6,00m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

DC-300
- DECANTADOR SECUNDÁRIO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL ABERTO, FUNDO INCLINADO
- MATERIAL: CONCRETO ESTRUTURAL IMPERMEABILIZADO
- DIÂMETRO: 5000mm
- ALTURA CILÍNDRICA ÚTIL: 3600mm
- ALTURA CILÍNDRICA TOTAL: 4000mm
- INCLINAÇÃO FUNDO: 10°
- QUANTIDADE: 01 (UM)

PRL-300
- PONTE REMOVEDORA DE LODO
- TIPO: RADIAL, MANCAL CENTRAL ACIONAMENTO PERIFÉRICO
- VELOCIDADE: 2,0 m/min
- MOTO-REDUTOR: 0,33 cv, 380 V
- QUANTIDADE: 01 (UM)

EL-400 A IMPLANTAR
- ELEVATÓRIA EFLUENTE TRATADO BIOLOGICAMENTE
- MATERIAL: CONCRETO ESTRUTURAL IMPERMEABILIZADO
- COMPRIMENTO: 2000mm
- LARGURA: 2000mm
- ALTURA ÚTIL: 1100mm
- ALTURA TOTAL: 1300mm
- VOLUME ÚTIL: 4,50m3
- QUANTIDADE: 01 (UM)

AD-800
- ADENSADOR DE LODO
- TIPO: CILÍNDRICO VERTICAL ABERTO, FUNDO CÔNICO
- MATERIAL: AÇO CARBONO SAE-1020
- DIÂMETRO: 3000mm
- ALTURA CILÍNDRICA ÚTIL: 1300mm
- ALTURA CILÍNDRICA TOTAL: 1800mm
- ALTURA CONE: 2700mm
- QUANTIDADE: 01 (UM)

LS-100
- LEITOS DE SECAGEM
- TIPO: RETANGULAR ABERTO, FUNDO INCLINADO
- MATERIAL: ALVENARIA
- COMPRIMENTO: 10350mm
- LARGURA: 4900mm
- ALTURA TOTAL:
- NÚMERO CÂMARAS: 01
- NÍVEL DE LODO: 300mm
- QUANTIDADE: 01 (UM)

B-110A/B
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 30m3/h x 30 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 04 (QUATRO)

B-210A/B
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL

B-310A/B
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 15m3/h x 20 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 02 (DUAS)

B-100A/B
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 30m3/h x 30 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 02 (DUAS)

B-200A/B
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 30m3/h x 30 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 02 (DUAS)

B-300A/B
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 30m3/h x 30 mca
- MODELO: D-820 2.1/2" x 1.1/2" X 5"
- MOTOR: 5,0cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 02 (DUAS)

B-120
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 15m3/h x 30 mca
- MODELO: D-520 1.1/2" x 1" X 5"
- MOTOR: 3,0cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

B-240
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 5m3/h x 20 mca
- MODELO: D-520 1.1/2" x 1" X 5"
- MOTOR: 3,0cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

B-130
- BOMBA DESLOCAMENTO POSITIVO
- CAPACIDADE: m3/h x 15 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V
- FABRICANTE: NETZSCH OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

BL-220
- BOMBA DESLOCAMENTO POSITIVO
- CAPACIDADE: 1,0m3/h x 15 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V
- FABRICANTE: NETZSCH OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

BL-330
- BOMBA DESLOCAMENTO POSITIVO
- CAPACIDADE: m3/h x mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V
- FABRICANTE: NETZSCH OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

BD-700A/B/C/D
- BOMBA DOSADORA PNEUMÁTICA
- CAPACIDADE: 600L/h x 15 mca
- MODELO: P.025/KPPP/TF/TF/KTV
- CONSUMO AR: 3,0N m3/h
- FABRICANTE: WILDEN OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 04 (QUATRO)

B-CAL-01A/B
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 10m3/h x 15 mca
- MODELO: D-520 2" x 1.1/2" X 4"
- MOTOR: 3,0cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 02 (DUAS)

B-400
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 15m3/h x 20 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

B-500
- BOMBA DESLOCAMENTO POSITIVO
- CAPACIDADE: 5,0m3/h x 30 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V
- FABRICANTE: NETZSCH OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 02 (DUAS)

BL-30
- BOMBA DESLOCAMENTO POSITIVO
- CAPACIDADE: 5,0m3/h x 30 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V
- FABRICANTE: NETZSCH OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

B-410/800
- BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL
- CAPACIDADE: 20m3/h x 30 mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: WORTHINGTON OU SIMILA
- QUANTIDADE: 02 (DUAS)

B-550
- BOMBA SUBMERSÍVEL
- CAPACIDADE: m3/h x mca
- MODELO:
- MOTOR: cv, 220/380V, IP#-54
- FABRICANTE: ABS OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UMA)

ARF-100A/B/C/D/E
- ASPIRADOR RÁPIDO FLUTUANTE
- TIPO: PROPULSOR
- MODELO: EMH-JET-5,0
- MOTOR: 5,0 cv
- EIXO: 1200mm EM AÇO INOX AISI-3
- HÉLICE: TIPO HELICOIDAL EM NYLON
- QUANTIDADE: 05 (CINCO)

MT-200A/B
- MISTURADOR
- TIPO: PÁS PLANAS
- MODELO: MT-18/5,0
- MOTO-REDUTOR: 5,0 cv
- EIXO/HÉLICE: AÇO CARBONO ASTM A-
- ROTAÇÃO: 18rpm
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

AL-100A/B
- AGITADOR TURBINA
- TIPO: AXIAL
- MOTO-REDUTOR: 2,0cv; 220/380cv; IP#-55
- NÚMERO PÁS: 06
- ROTAÇÃO: 40-180rpm
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

AL-06/06
- AGITADOR TURBINA
- TIPO: AXIAL
- MOTO-REDUTOR: 1,0cv, 220/380cv; IP#-55
- NÚMERO PÁS: 06
- ROTAÇÃO: 18rpm
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

AR-700A/B/C/D/E
- AGITADOR RÁPIDO
- MODELO: AR-1750/0,33
- EIXO/HÉLICE: AÇO INOX AISI-304
- MOTO-REDUTOR: 0,33HP; 220/380cv
- ROTAÇÃO: 1750rpm
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

AL-CAL-01
- MISTURADOR
- TIPO: LENTO
- MOTO-REDUTOR: 1,0 cv
- EIXO/HÉLICE: AÇO CARBONO ASTM A-285
- ROTAÇÃO: 36rpm
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

AL-10A/B
- MISTURADOR
- TIPO: LENTO
- MOTO-REDUTOR: 1,0 cv
- EIXO/HÉLICE: AÇO CARBONO ASTM A-285
- ROTAÇÃO: 18rpm
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

FIT-100A/B
- MEDIDOR DE VAZÃO
- MODELO: CALHA PARSHALL - W1"
- MATERIAL: FIBRA DE VIDRO
- INDICADOR DE VAZÃO: REGUA LINIMÉTRICA
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

SP-100A/B
- SOPRADOR DE AR
- TIPO: SOPRADOR ROOTS
- FABRICANTE: ROBUSCHI
- MODELO:
- CAPACIDADE: 9,1N m3 ar/min x 6mca
- QUANTIDADE: 02 (DOIS)

DM-100A/B
- DIFUSOR DE MEMBRANA
- TIPO: DISCO DE BOLHA FINA
- DIÂMETRO: 230mm
- MEMBRANA: NEOPRENE
- SUPORTE DE FIXAÇÃO: AÇO INOX
- QUANTIDADE: 240 (DUZENTOS E QUARENTA)

DM-200
- DIFUSOR DE MEMBRANA
- TIPO: DISCO DE BOLHA FINA
- DIÂMETRO: 230mm
- MEMBRANA: NEOPRENE
- SUPORTE DE FIXAÇÃO: AÇO INOX
- QUANTIDADE: 45 (QUARENTA E CINCO)

EL-500
- ELEVATÓRIA
- MATERIAL: CONCRETO ESTRUTURAL IMPERMEABILIZADO
- DIÂMETRO: 1300mm
- ALTURA ÚTIL: mm
- ALTURA TOTAL: mm
- QUANTIDADE: 01 (UM)

FP-100
- FILTRO PRENSA
- TIPO: CÂMARAS
- MODELO: 021 - 43
- NÚMERO PLACAS: 40
- BOMBA FECHAMENTO: 5,0CV
- BOMBA DESLOCAMENTO: 0,33CV
- FABRICANTE: NETZSCH
- QUANTIDADE: 01 (UM)

m3/h
Kgf/cm2

CONVENÇÃO

LIMITE DE FORNECIMENTO
EnvironQuip
Cliente

- FORNECIMENTO ENVIRONQUIP
- FORNECIMENTO ESSENCIS
- DOSAGEM EXISTENTE
- ÁGUA LIMPA EXISTENTE
- AR COMPRIMIDO EXISTENTE
- CAL EXISTENTE

EnvironQuip - Engenharia de Sistemas Ambientais Ltda.
Rua Nicolau Gulbino, Nº 80 - Bloco 01 - CEP 82800-340 - C. Imbuia - Curitiba/PR
Tel.:(41) 3366-6777 - Fax:(41) 3366-7002 - E-mail: environquip@environquip.com.br

	NOME:	DATA:
DES.:		
VER.:		
APR.:		

TÍTULO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

CLIENTE: CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

01 / 01

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

CONTEÚDO: FLUXOGRAMA

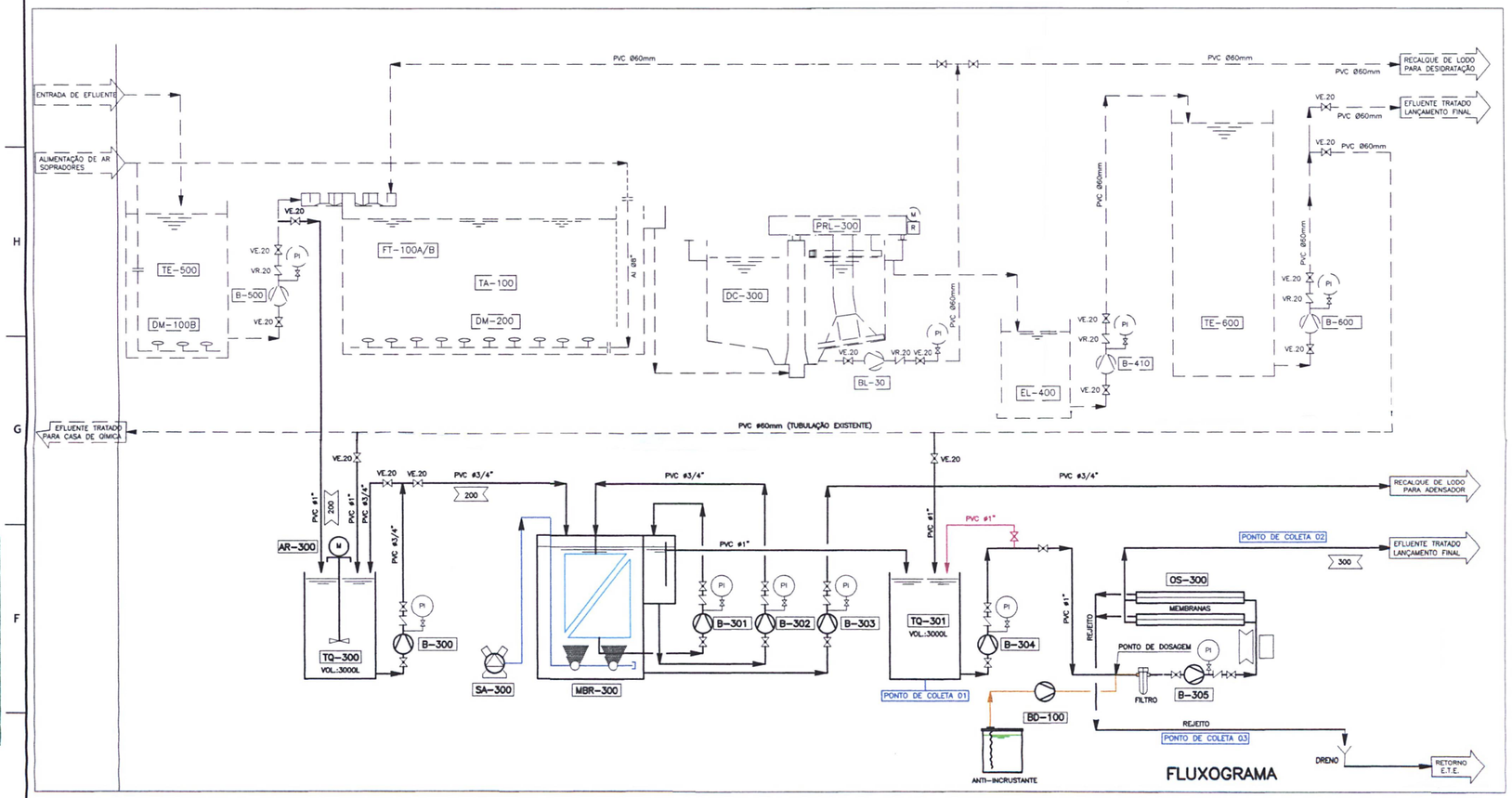
REVISÃO:

ESCALA: S/ ESCALA

PROJETO N.:

ANEXO C - FLUXOGRAMA DAS PLANTAS PILOTOS INSTALADAS PARA ESTE ESTUDO.

ESTE DESENHO FOI GERADO PELO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA ENVIRONQUIP - ENG° DE SISTEMA AMBIENTAIS LTDA.; SENDO PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL DO MESMO SEM AUTORIZAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS TÉCNICOS, SUJEITANDO O INFRATOR AOS RIGORES DA LEI



FLUXOGRAMA

TQ–300
- **TANQUE DE RECEPÇÃO EFLUENTE 01**
- TIPO: CILÍNDRICO ABERTO
- MATERIAL: FIBRA DE VIDRO
- DIÂMETRO:
- ALTURA CILÍNDRICA:
- CAPACIDADE: 3000 Litros
- QUANTIDADE: 01 (UM)

AR–300
- **AGITADOR RÁPIDO**
- MODELO:
- EIXO/HÉLICE: AÇO INOX AISI-304
- MOTO-REDUTOR: 1,0 CV
- ROTAÇÃO: 170 rpm
- QUANTIDADE: 01 (UM)

B–300
- **BOMBA DE RECALQUE EFLUENTE**
- TIPO: PNEUMÁTICA
- CAPACIDADE:
- MODELO:
- **CONSUMO AR:**
- FABRICANTE: WILDEN OU SIMILAR
- QUANTIDADE: 01 (UM)

MBR–300
- **REATOR DE MEMBRANA MBR**
- CAPACIDADE: 5–10 m3/d
- MATERIAL:
- DIMENSÕES:
- QUANTIDADE: 01 (UM)

SA–300
- **SOPRADOR DE AR**
- FABRICANTE:
- MODELO:
- CAPACIDADE:
- QUANTIDADE: 01 (UM)

B–301
- **BOMBA DE SUCÇÃO EFLUENTE TRATADO**
- CAPACIDADE: 200L/h
- QUANTIDADE: 01 (UM)

B–302
- **BOMBA DE LAVAGEM**
- CAPACIDADE: 200L/h
- QUANTIDADE: 01 (UM)

B–303
- **BOMBA RECALQUE DE LODO**
- CAPACIDADE: 200L/h
- QUANTIDADE: 01 (UM)

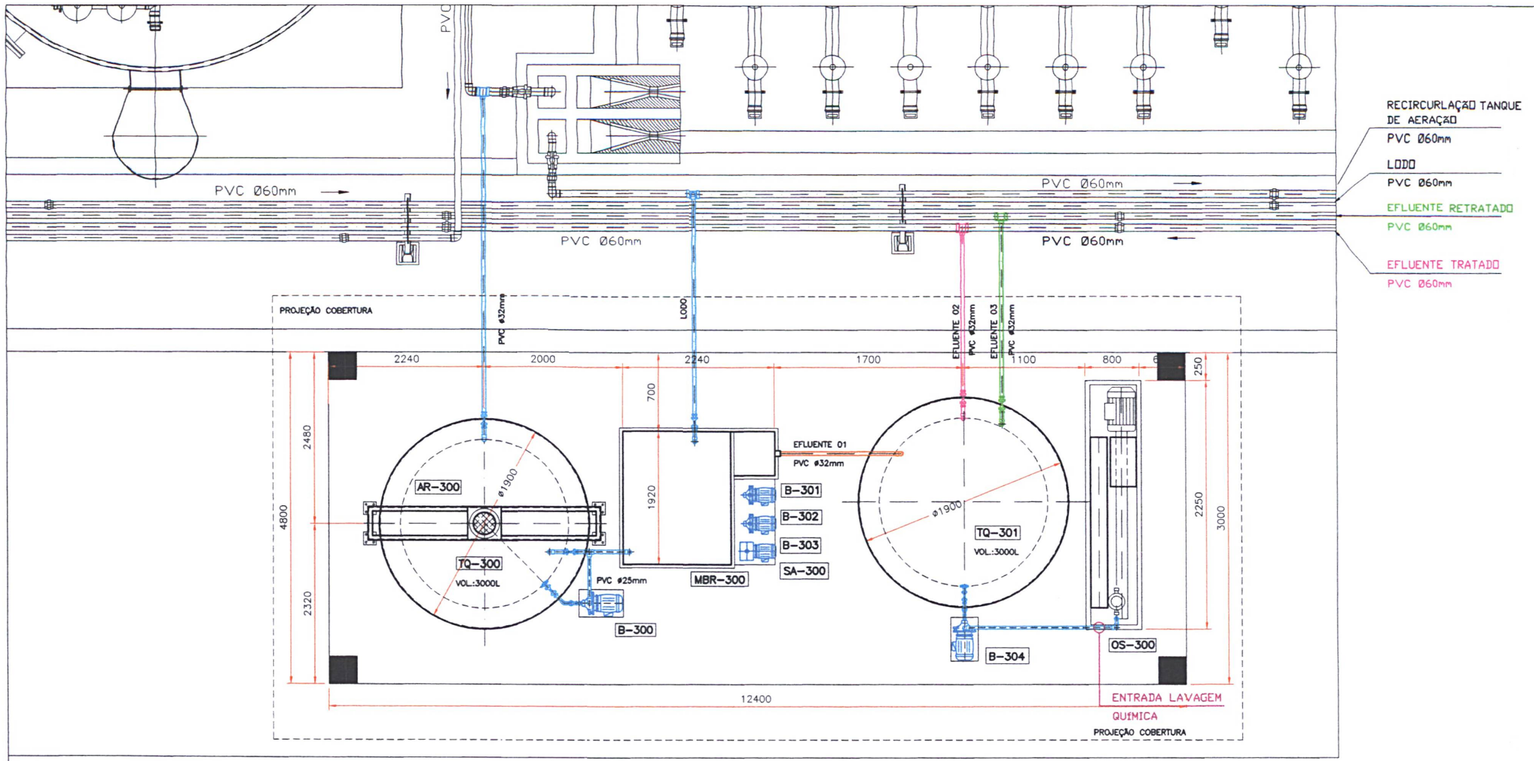
B–304
- **BOMBA DE RECALQUE EFLUENTE PARA OSMOSE**
- TIPO: CENTRÍFUGA
- CAPACIDADE: 1m3/h
- MODELO: BC98
- FABRICANTE: SCHENEIDER
- QUANTIDADE: 01 (UM)

TQ–301
- **TANQUE DE RECEPÇÃO EFLUENTE 02**
- TIPO:
- MATERIAL:
- DIÂMETRO:
- ALTURA CILÍNDRICA:
- CAPACIDADE: 3000 Litros
- QUANTIDADE: 01 (UM)

OS–300
- **MÓDULO OSMOSE REVERSA**
- FABRICANTE: AQUA MUNDI
- MODELO: AM 4040ds-2
- CAPACIDADE: 700L/h
- QUANTIDADE: 01 (UM)

B–305
- **BOMBA DE ALTA PRESSÃO**
- TIPO: CENTRÍFUGA ALTA PRESSÃO
- CAPACIDADE: 16m3/h
- MODELO: 11.2 B–27
- FABRICANTE: DANCOR
- QUANTIDADE: 01 (UM)

BD–100
- **BOMBA DOSADORA DE PRODUTO ANTI–INCRUSTANTE**
- TIPO: ELETRÔNICA
- CAPACIDADE: 1,44 – 12,00L
- MODELO: BDE–12
- FABRICANTE: SILTEC
- QUANTIDADE: 01 (UM)

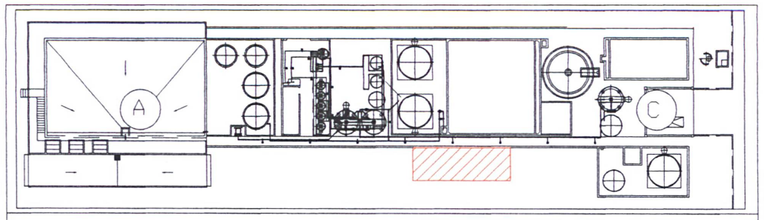


RECIRCURLAÇÃO TANQUE DE AERAÇÃO
PVC Ø60mm
LODO
PVC Ø60mm
EFLUENTE RETRATADO
PVC Ø60mm
EFLUENTE TRATADO
PVC Ø60mm

IMPLANTAÇÃO
ESCALA _____ 1:40

LEGENDA:
ÁGUAS DE ALIMENTAÇÃO DA OSMOSE REVERSA
EFLUENTE TRATADOR POR PROCESESSO DE MBR
EFLUENTE TRATADOR POR PROCESESSO DE LODOS ATIVADOS (ETE DA EMPRESA)
EFLUENTE RETRATADO POR PROCESESSO FÍSICO QUÍMICO
PONTOS DE COLETA

m3/h
Kgf/cm2



PLANTA DE SITUAÇÃO

COR	PADRÃO	ESP
1	PRETO	0,15
2	PRETO	0,13
3	PRETO	0,30
4	PRETO	0,15
5	PRETO	0,60
6	PRETO	0,15
7	PRETO	0,15
8	PRETO	0,13
9	COR	0,20
10	COR	0,20
20	COR	0,20
30	COR	0,20
32	COR	0,20
90	COR	0,20
130	COR	0,20
140	COR	0,20
150	COR	0,20
160	COR	0,20
170	PRETO	0,30
210	COR	0,30
251	COR	0,15
254	COR	0,13

EnvironQuip - Engenharia de Sistemas Ambientais Ltda.
Rua Nicolau Gulbino, Nº 80 - Bloco 01 - CEP 82800-340 - C. Imbuia - Curitiba/PR
Tel.:(41) 3366-6777 - Fax:(41) 3366-7002 - E-mail: environquip@environquip.com.br

	NOME:	DATA:
DES.:		
VER.:		
APR.:		

TÍTULO: SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
PLANTA PILOTO PARA REUSO DE EFLUENTE

CLIENTE: CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

01 / 01

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

CONTEÚDO: PLANTA PILOTO FLUXOGRAMA

REVISÃO:

ESCALA: INDICADA

PROJETO N.:

Orientador
Urivald Pawlowsky

Autora
Roberta Petry Chamon
Rua: General Polli Coelho, 401
Tarumã – Curitiba – PR
Fone: ++ 55 41 3365-8343
Celular: ++ 55 41 9936-6006
Email: roberta.chamon@yahoo.com.br