Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Ciências e Tecnologia
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

TESE DE DOUTORADO

SISTEMAS DE MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO/NANOFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA: UMA ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DO NITRATO EM ÁGUAS DOCES E SALOBRAS

FRANCISCO RUBENS MACEDO DE QUEIROZ

Campina Grande - PB
Janeiro/2017

FRANCISCO RUBENS MACEDO DE QUEIROZ

SISTEMAS DE MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO/NANOFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA: UMA ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DO NITRATO EM ÁGUAS DOCES E SALOBRAS

Tese apresentada ao Programa de Pós–Graduação de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande-PB, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Química.

Área de Concentração: Recurso Regional e Meio Ambiente
Orientador: Prof. Kepler Borges França (Ph.D).

Campina Grande – PB
Janeiro/2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

Q3s Queiroz, Francisco Rubens Macedo de.

Sistemas de membranas de microfiltração/nanofiltração e ultrafiltração/osmose inversa: uma alterantiva para a redução do nitrato em águas doces e salobras / Francisco Rubens Macedo de Queiroz. – Campina Grande, 2017.

257 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2016.

"Orientação: Prof. Dr. Kepler Borges França".

Referências.

1. Nitratos. 2. Nanofiltração. 3. Aguas Doces e Salobras - Nitrato. 4. Osmose Inversa. I. França, Kepler Borges. II. Título.

CDU 543.321(043)

FRANCISCO RUBENS MACEDO DE QUEIROZ

SISTEMAS DE MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO/NANOFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA: UMA ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DO NITRATO EM ÁGUAS DOCES E SALOBRAS

TESE APRESENTADA EM: 09/12/2016

BANCA EXAMINADORES:

Prof. Kepler Borges França (Ph.D)
Orientador (UFCG/UAEQ)

Profª. Dra. Marcia Isabel Cirne França
Examinadora externa (UEPB/CCT)

Prof. Dr. Heleno Bispo da Silva Júnior
Examinador interno (UFCG/UAEQ)

Prof. Dr. Sidinei Kleber da Silva
Examinador externo (UFCG/UAEQ)

Prof. Dr. José Nilton silva
Examinador interno (UFCG/UAEQ)

Campina Grande – PB, 09 de Janeiro de 2017.

Dedico este trabalho:
Ao meu pai José Wilson de Freitas Queiroz ***(IN MEMORIUM)***.
A minha mãe Joséfa Maria Macedo de Queiroz.
Aos meus irmãos Kleber, Ailsa, Alise, Fábio e Lindalva.
A minha esposa Antônia Cruz Santana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar mais uma conquista na minha vida, pois sem Deus não teria conseguido realizar o meu sonho de concluir o meu doutorado.

Ao Prof. Kepler Borges França (UAEQ/UFCG) pela a oportunidade, pelos ensinamentos, orientação, encorajamento e amizade, incentivo, perfeição nos objetivos durante todo o tempo.

A minha mãe Josefa Maria de Macedo Queiroz e minha esposa Antônia Cruz Santana de Queiroz, por sempre acreditarem em mim e por me incentivarem nos meus estudos. Meu pai José Wilson de Freitas Queiroz ***(IN MEMORIUM)*** que não mais se encontra comigo, mas que deve está orgulhoso por eu ter realizado este sonho de ser um doutor.

Aos meus irmãos Francisco Kleber, Francisca Aílsa, por estarem sempre ao meu lado incentivando para realização dessa conquista de ser um doutor.

Aos meus amigos Theódulo, Manuel, João, Iago, Kelly, Sonáli, Rodrigo, Maniza, pessoas que participaram da minha vida no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES).

A meu amigo, pai, conselheiro, Severino Germano que proporcionou a sua amizade nos momentos de dificuldade que passei. Falar de Severino Germano é pouco, é gratificante ter o conhecido e por ter participar um pouco de sua de vida. Não se esquecendo de agradecer a sua família: sua esposa dona Salete, Germano Filho, Ivandro e Felipe.

Ao programa REUNI/CAPES por proporcionar os recursos necessários na manutenção do meu doutorado. A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFCG. A Maricé pela excelente assistência que foi dada durante todo esse período.

A CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Rio Grande do Norte) por ter cedido a amostra de água do poço Felipe Camarão, localizado na cidade de Natal.

Enfim, Muito Obrigado a todos que contribuíram para que eu conseguisse cumprir essa missão... fica comigo um pouco de voces.

RESUMO

Um dos grandes desafios da atualidade vem sendo a conservação e manutenção dos corpos de águas do mundo, devido as suas contaminações em função das atividades humana. A diversidade das substâncias toxicas de diferentes naturezas são veiculadas como fontes de doenças de alto risco para todos os seres e vegetações do planeta. Um dos pontos preliminares é o acesso ao saneamento básico que a maioria das cidades brasileiras não possuem e que carreiam seus resíduos para mananciais superficiais e subterrâneas, deixando-os com altos índices de bactérias, inclusive com o aumento da concentração de nitrato nas águas subterrâneas. O presente trabalho visa estudar o desempenho de dois sistemas de membranas para reduzir a concentração de nitrato presente em águas de poços doces e salobros, contendo índices de nitrato acima dos padrões de potabilidade da legislação brasileira. Os desempenhos dos sistemas de membranas de microfiltração/nanofiltração e ultrafiltração/osmose inversa, foram estudados em função de seus limites de pressões de operações para diferentes níveis de concentrações de nitrato presentes nos meios aquosos. Os níveis das pressões de operações para todas as águas estudadas foram obtidos com auxílio de um simulador de processos de membranas (*Reverse Osmose System Analysis)*, o qual contribui para realizar o planejamento experimental em função das pressões de operações versus concentrações nitrato. A primeira fase do trabalho os dois sistemas operaram com uma solução de nitrato na faixa de 0,67 $mg.L^{-1} \leq [N\text{-}N0_3^-] \leq 23,3\ mg.L^{-1}$ visando explorar os níveis das taxas rejeição do nitrato em função de suas pressões de operações. Os desempenhos dos dois sistemas de membranas foram estudados com água doce de poço contaminada com nitrato, água de abastecimento da rede do LABDES e água de poço salobra, ambas com adição de 20,8 $mg.L^{-1}$ de nitrato. Os resultados das taxas de rejeição de nitrato para os dois sistemas foram comparados em função do tipo de água de alimentação e seus níveis de concentrações de nitrato. Observou-se que o sistema de membranas de ultrafiltração/osmose inversa apresentou uma remoção de nitrato superior para todos os casos estudados, quando comparados com os obtidos pelo sistema de microfiltração/nanofiltração. Comparando os resultados para uma pressão de operação comum para os dois sistemas de membranas estudados de 3,2 bar o sistema de membrana de microfiltração/nanofiltração conseguiu uma taxa de remoção de 54,50% e o sistema de ultrafiltração/osmose inversa foi de 86,10% para uma concentração de 20,8 $mg.L^{-1}$ de nitrato na água doce de poço. Observou-se que uma redução de nitrato e dos sólidos totais dissolvidos em águas doces para os padrões de potabilidade foram significativas para o sistema de ultrafiltração/osmose inversa do que a do sistema de microfiltração/nanofiltração, em função da pressão de operação. Com auxilio do MINITAB Versão 17.0 os modelos foram validados a partir das curvas dos dados experimentais para os dois sistemas de membranas estudados.

Palavra – chave: nitrato, nanofiltração, osmose inversa.

ABSTRACT

One of the great challenges of the present time has been the conservation and maintenance of the bodies of water of the world, due to its contaminations due to human activities. The diversity of toxic substances of different natures are conveyed as sources of high risk diseases for all beings and vegetations of the planet. One of the preliminary points is access to basic sanitation that most Brazilian cities do not have and that carry their waste to surface and underground springs, leaving them with high rates of bacteria, including with increasing nitrate concentration in groundwater. The present work aims to study the performance of two membrane systems to reduce the concentration of nitrate present in waters of sweet and brackish wells, containing nitrate indices above the potability standards of Brazilian legislation. The performances of the microfiltration/nanofiltration and ultrafiltration/reverse osmosis membranes systems were studied as a function of their operating pressure limits for different levels of nitrate concentrations present in the aqueous media. The operating pressure levels for all studied waters were obtained using a Reverse Osmose System Analysis, which contributes to perform the experimental planning as a function of the operating pressures versus nitrate concentrations. In the first phase of the work the two systems operated with a nitrate solution in the range of 0,67 $mg.L^{-1} \leq [N\text{-}N0_3^-] \leq$ 23,3 $mg.L^{-1}$ to explore the levels of nitrate rejection rates as a function of their pressures Operations. The performances of the two membrane systems were studied with fresh water from well contaminated with nitrate, LABDES network water supply and brackish water, both with addition of 20,8 $mg.L^{-1}$ of nitrate. The results of the nitrate rejection rates for the two systems were compared according to the type of feed water and their levels of nitrate concentrations. It was observed that the ultrafiltration / reverse osmosis membrane system showed superior nitrate removal for all the studied cases when compared to those obtained by the microfiltration / nanofiltration system. Comparing the results to a common operating pressure for the two 3,2 bar membrane systems studied, the microfiltration/nanofiltration membrane system achieved a removal rate of 54,50% and the ultrafiltration/reverse osmosis system was 86,10% for a concentration of 20,8 $mg.L^{-1}$ nitrate in freshwater well. It was observed that a reduction of nitrate and total solids dissolved in fresh water to the potability standards were significant for the ultrafiltration / reverse osmosis system than that of the microfiltration/nanofiltration system as a function of the operating pressure. With the help of MINITAB Version 17.0 the models were validated from the curves of the experimental data for the two systems of membranes studied.

Keywords: Nitrate, Nanofiltration, Reverse Osmosis.

PUBLICAÇÕES

i) Artigos no prelo

QUEIROZ, F.R.M., FRANÇA, K.B. REDUÇÃO DO N-NO_3^- EM ÁGUA DOCE POÇO TUBULAR ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO: ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA. Revista Editora Acta Amazônica.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS ..... **vi**
RESUMO ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
PUBLICAÇÕES ..... **ix**
LISTA DE TABELAS ..... **xix**
1. INTRODUÇÃO **29**
1.1 OBJETIVOS **31**
1.1.1 Objetivo principal 31
1.1.2 Objetivos específicos 31
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS **33**
2.1 MEMBRANAS POLIMÉRICAS **33**
2.2 REDUÇÃO DO NITRATO (NO_3^-) EM ÁGUAS **38**
2.2.1 Ciclo do nitrogênio 38
2.2.2 Níveis de nitrato (NO_3^-) em águas 41
2.2.3 Remoção do nitrato ($N0_3^-$) em águas. 43
3. MATERIAIS E MÉTODOS **52**
3.1 MATERIAIS **54**
3.1.1 Solução de nitrato 54
3.1.2 Água doce 55
3.1.3 Água estudadas (com adição de NO_3^-) 55
3.2 SISTEMAS DE MEMBRANAS **58**
3.2.1 Fluxograma do sistema MF/NF 58
3.2.2 Sistema de membranas MF/NF 59
3.2.3 Fluxograma do sistema UF/OI 62
3.2.4 Sistema de membranas: (UF/OI) 63
3.3 TANQUE DE ALIMENTAÇÃO **65**
3.4 TANQUE DE MISTURA **65**

3.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 66

3.5.1 Solução de nitrato 66

3.5.2 Águas: Doce e de abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato ... 67

3.7 EXPERIMENTOS COM SOLUÇÃO DE NITRATO 67

3.7 ÁGUAS: DOCE E DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO 69

3.8 ANÁLISES QUÍMICAS 70

3.9 PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NAS ÁGUAS ESTUDADAS 71

3.10 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS NOS SISTEMAS DE MEMBRANAS 71

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA (ANOVA) E MODELAGEM 73

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 78

4.1. SOLUÇÃO DE NITRATO 78

4.1.1 Processo de simulação do sistema de MF/NF para as soluções de nitrato 79

4.1.2 Processo experimental do sistema de MF/NF com água solução de nitrato 83

4.1.3 Processo de simulação do sistema de UF/OI com solução de nitrato 87

4.1.4 Processo experimental do sistema UF/OI com água solução de nitrato 91

4.1.4 Comparação dos sistemas MF/NF e UF/OI com solução de nitrato 95

4.2 ÁGUA DOCE 99

4.2.1 Processo de simulação do sistema de MF/NF com água doce 99

4.2.2 Processo experimental com o sistema de MF/NF com água doce 103

4.2.3 Processo de simulação do sistema de UF/OI com água doce 108

4.2.4 Processo experimental do sistema de UF/OI com água doce 113

4.2.5 Comparação dos sistemas MF/NF e UF/OI com água doce 117

4.3. ÁGUAS COM ADIÇÃO DE NITRATO 120

4.3.1 Processo de simulação no sistema de MF/NF com água da abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato 121

4.3.2 Processo experimental no sistema MF/NF com água abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato..... 125

4.3.3 Análise do desempenho MF/NF com água do poço da localidade de Uruçu.... 129

4.3.4 Processo de simulação no sistema de UF/OI com água abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato..... 131

4.3.5 Processo experimental no sistema UF/OI com água abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato..... 134

4.3.6 Comparação dos sistemas MF/NF e UF/OI com água de abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato..... 139

4.3.7 Analise do desempenho UF/OI com água do poço da localidadede Uruçu 142

4.3.8 Analise dos desempenhos dos sistemas MF/NF e UF/OI com as águas estudadas com nitrato..... 143

4.4 ANÁLISES DE CONFIABILIDADE DAS MODELAGENS DOS PROCESSOS ... 145

4.4.1 Confiabilidade das modelagens dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI em relação à solução de nitrato..... 145

4.4.2 Confiabilidade das modelagens dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI em relação à água doce 146

4.4.3 Confiabilidade das modelagens dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI em relação à água de abastecimento com adição de nitrato 148

5. CONCLUSÕES 151

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 156

6. REFERÊNCIAS 157

ANEXO A: LAUDO TÉCNICO DAS MEMBRANAS DO SISTEMA DE MICROFILTRAÇÃO/NANOFILTRAÇÃO. 162

ANEXO B: LAUDOS TÉCNICOS DAS MEMBRANAS DO SISTEMA 167

DE ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA. 167

ANEXO C: METODOLOGIA SOBRE A LIMPEZA QUÍMICA DOS SISTEMAS..... 172

DE MF/NF E UF/OI. 172

ANEXO D: AUTORIZAÇÃO DOS DADOS DA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA PELA COMPANHIA DE ÁGUA ESGOTO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN) 175

APÊNDICE A: LAUDOS FÍSICOS-QUÍMICOS DAS ÁGUAS ESTUDADAS NESTE TRABALHO. 181

APÊNDICE B: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE ALGUMAS BATELADAS DOS DOIS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO MICRO/NANOFILTRAÇÃO E ULTRA/OSMOSE INVERSA. 186

APÊNDICE C: PROJETO SIMULADO COM AUXILIO DO SOFTWARE ROSA PARA OS SEGUINTES SISTEMAS DE MEMBRANAS: MF/NF e UF/OI 197

APÊNDICE D: MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO MICRO/NANOFILTRAÇÃO EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- COM AS ÁGUAS EM ESTUDO. .. 224

APÊNDICE E: MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSEINVERSA EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- COM AS ÁGUAS EM ESTUDO. 232

APÊNDICE F: MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO MICRO/NANOFILTRAÇÃO EM RELAÇÃO AO FLUXO (J_V), RECUPERAÇÃO (R%), VAZÃO (Q). 240

APÊNDICE G: MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA EM RELAÇÃO AO FLUXO (J_V), RECUPERAÇÃO (R%), VAZÃO (Q). 244

APÊNDICE H: MÉTODOS ANALÍTICOS PARA AS ANÁLISES FÍSICAS QUÍMICAS. 248

APÊNDICE I: A ANÁLISES DE CONFIABILIDADE DOS MODELOS ENCONTRADOS NOS SISTEMA DE MEMBRANAS MF/NF E UF/OI PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 255

LISTA DE FIGURA

FIGURA 1. ESQUEMA GERAL DO MODO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA. 33

FIGURA 2. CLASSIFICAÇÃO DAS MEMBRANAS QUANTO À MORFOLOGIA. 34

FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS PRINCIPAIS MORFOLOGIAS DE MEMBRANAS. 34

FIGURA 4. CAPACIDADE DOS PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO NO MUNDO, REFERENTE AO PRIMEIRO BIMESTRE DE 2012. 36

FIGURA 5. EVOLUÇÃO E PERSPECTIVA DO MERCADO NORTE-AMERICANO DE MEMBRANAS. 38

FIGURA 6. CICLO DO NITROGÊNIO 39

FIGURA 7. ESQUEMA DE NF DA PLANTA PILOTO REFERENTE AO ESTUDO DE MOROS ET AL. 43

FIGURA 8. ESQUEMA DA PLANTA PILOTO BASEADO NO ESTUDO DE MOROS ET AL. 44

FIGURA 9. ESTRUTURA DO PROCESSO EXPERIMENTAL..... 45

FIGURA 10. GRÁFICO DO FLUXO VERSUS PRESSÃO TRANSMEMBRANA DE CADA MEMBRANA. 46

FIGURA 11. DESCRIÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO MBR E NF PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS MUNICIPAIS.....47

FIGURA 12. ESQUEMA DO SISTEMA CDI CHARGE-BARREIRA ADAPTADO DO TRABALHO ROMAIN ET AL (2009) 49

FIGURA 13. SISTEMA UTILIZADO POR ZHANG ET AL PARA REMOÇÃO DO NITRATO..... 49

FIGURA 14. FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MEMBRANAS. 53

FIGURA 15. DIAGRAMA DO PROCESSO DE MEMBRANAS. 58

FIGURA 16. SISTEMA DE MICRO/NANOFILTRAÇÃO. 59

FIGURA 17. MONITORAMENTO VIA TELEMETRIA DO SISTEMA DE MF/NF..... 61

FIGURA 18. DIAGRAMA DO PROCESSO DE MEMBRANAS. 62

FIGURA 19. SISTEMA DE ULTRA/OSMOSE INVERSA..... .63

FIGURA 20. TANQUE DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMAS DE MEMBRANAS. 65

FIGURA 21. TANQUE DE MISTURA E FIGURA 22. VISTA INTERNA DO TANQUE. 66

FIGURA 23. REGIÃO DE CONTORNO EM RELAÇÃO A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO $N\text{-}NO_3^-$ NO PERMEADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO COM SISTEMA DE MICRO/NANOFILTRAÇÃO.....82

FIGURA 24. REGIÃO DE CONTORNO EM RELAÇÃO À REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO $N\text{-}NO_3^-$ NO PERMEADO NO SISTEMA DE MICRO/NANOFILTRAÇÃO.....86

FIGURA 25. REGIÃO DE CONTORNO PARA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO $N\text{-}NO_3^-$ NO PERMEADO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE UF/OI.....90

FIGURA 26. REGIÃO DE CONTORNO PARA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO $N\text{-}NO_3^-$ NO PERMEADO DO SISTEMA DE UF/OI.....95

FIGURA 27. VALORES DO FLUXO EM RELAÇÃO À PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE MEMBRANAS MF/NF.....98

FIGURA 28. VALORES DO FLUXO EM RELAÇÃO À PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE MEMBRANAS UF/OI.....98

FIGURA 29. MOSTRA O AJUSTE DO MODELO EM RELAÇÃO À RESPOSTA DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE MF/NF..... 103

FIGURA 30. MOSTRA O AJUSTE DO MODELO EM RELAÇÃO À RESPOSTA DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DO SISTEMA DE MF/NF.....107

FIGURA 31. GRÁFICO DA PROBABILIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DOS RESULTADOS DA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DA SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE ULTRA/OSMOSE.....112

FIGURA 32. GRÁFICO DA PROBABILIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DOS RESULTADOS DA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DO SISTEMA DE ULTRA/OSMOSE.....116

FIGURA 33. COMPORTAMENTO DO FLUXO NO PROCESSO EXPERIMENTAL OCORRIDO NO SISTEMA DE MEMBRANAS MF/NF.....119

FIGURA 34. COMPORTAMENTO DO FLUXO NO PROCESSO EXPERIMENTAL OCORRIDO NO SISTEMA DE MEMBRANAS UF/OI.....119

FIGURA 35. MOSTRA O AJUSTE DO MODELO EM RELAÇÃO À RESPOSTA DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE MF/NF..... 124

FIGURA 36. MOSTRA O AJUSTE DO MODELO EM RELAÇÃO À RESPOSTA DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DO PROCESSO EXPERIMENTAL DO SISTEMA DE MF/NF..... 128

FIGURA 37. GRÁFICO DA PROBABILIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DOS RESULTADOS DA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DO SISTEMA DE ULTRA/OSMOSE.....134

FIGURA 38. GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL DOS RESULTADOS EM TERMOS DE REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PERMEADO DO SISTEMA DE ULTRA/OSMOSE INVERSA.....138

FIGURA 39. COMPORTAMENTO DO FLUXO NO PROCESSO EXPERIMENTAL OCORRIDO NO SISTEMA DE MEMBRANAS UF/OI.....140

FIGURA 40. COMPORTAMENTO DO FLUXO NO PROCESSO EXPERIMENTAL OCORRIDO NO SISTEMA DE MEMBRANAS UF/OI.....141

FIGURA 41. COMPORTAMENTO DA CONFIABILIDADE DOS VALORES ESTIMADOS DO MODELO EM RELAÇÃO AOS VALORES EXPERIMENTAIS DA CONCENTRAÇÃO DO PERMEADO NO SISTEMA MF/NF NA SOLUÇÃO DE NITRATO..... 145

FIGURA 42. COMPORTAMENTO DA CONFIABILIDADE DOS VALORES ESTIMADOS DO MODELO EM RELAÇÃO AOS VALORES EXPERIMENTAIS DA CONCENTRAÇÃO DO PERMEADO NO SISTEMA UF/OI NA SOLUÇÃO DE NITRATO..... 146

FIGURA 43. COMPORTAMENTO DA CONFIABILIDADE DOS VALORES ESTIMADOS DO MODELO EM RELAÇÃO AOS VALORES EXPERIMENTAIS DA CONCENTRAÇÃO DO PERMEADO NO SISTEMA MF/NF NA ÁGUA DOCE...147
FIGURA 44. COMPORTAMENTO DA CONFIABILIDADE DOS VALORES ESTIMADOS DO MODELO EM RELAÇÃO AOS VALORES EXPERIMENTAIS DA CONCENTRAÇÃO DO PERMEADO NO SISTEMA UF/OI ÁGUA DOCE. 147
FIGURA 45. COMPORTAMENTO DA CONFIABILIDADE DOS VALORES ESTIMADOS DO MODELO EM RELAÇÃO AOS VALORES EXPERIMENTAIS DA CONCENTRAÇÃO DO PERMEADO NO SISTEMA MF/NF NA ÁGUA SALOBRA. 148
FIGURA 46. COMPORTAMENTO DA CONFIABILIDADE DOS VALORES ESTIMADOS DO MODELO EM RELAÇÃO AOS VALORES EXPERIMENTAIS DA CONCENTRAÇÃO DO PERMEADO NO SISTEMA UF/OI NA ÁGUA SALOBRA. 149

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA INGESTÃO DIÁRIA DE ÁGUA POTÁVEL SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES INTERNACIONAIS E NACIONAIS. 29

TABELA 2. RESUMO DOS PSM E APLICAÇÕES BASEADA EM HABERT *ET AL* 2006. 35

TABELA 3. CUSTO ATUAL DE PRODUÇÃO DE ÁGUA POR DIFERENTES PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO 37

TABELA 4. PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS DA ÁGUA DESSALINIZADA USADA NO PREPARO DA SOLUÇÃO DE NITRATO, REALIZADA PELO LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA DE DESSALINIZAÇÃO (LABDES)/UFCG..... 54

TABELA 5. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA DO POÇO TUBULAR FELIPE CAMARÃO DA CAERN, REALIZADA PELO LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA DE DESSALINIZAÇÃO (LABDES)/UFCG 55

TABELA 6. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA LOCALIZADO NA CIDADE DE BOQUEIRÃO, REALIZADA PELO LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA DE DESSALINIZAÇÃO (LABDES)/UFCG ... 56

TABELA 7. PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS DA ÁGUA DO POÇO TUBULAR LOCALIZADO NO DISTRITO DE URUÇU, REALIZADA PELO LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA DE DESSALINIZAÇÃO (LABDES)/UFCG..... 57

TABELA 8. DADOS OBTIDOS DAS VARÁVEIS INDEPENDENTES NO PLANEJAMENTO COMPOSTO CENTRAL PARA O SISTEMA MF/NF..... 66

TABELA 9. DADOS OBTIDOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NO PLANEJAMENTO COMPOSTO CENTRAL PARA O SISTEMA UF/OI. 67

TABELA 10. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DO TIPO ONE-WAY PARA O SISTEMA MF/NF. 67

TABELA 11. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DO TIPO ONE-WAY PARA O SISTEMA UF/OI..... 67

TABELA 12. ARRANJOS DAS DUAS VARIÁVEIS DE INDEPENDENTES UTILIZADA NO PROCESSO DE REDUÇÃO DO N-NO_3^- NO SISTEMA DE MEMBRANAS MICRO/NANOFILTRAÇÃO. 68

TABELA 13. ARRANJOS DAS DUAS VARIÁVEIS DE INDEPENDENTES UTILIZADA NO PROCESSO DE REDUÇÃO DO N-NO_3^- NO SISTEMA DE MEMBRANAS ULTRA/OSMOSE INVERSA..... 68

TABELA 14. ARRANJOS DAS DUAS VARIÁVEIS DE INDEPENDENTES UTILIZADA NO PROCESSO DE REDUÇÃO DO N-NO_3^- NO SISTEMA DE MEMBRANAS MF/NF. 69

TABELA 15. ARRANJOS DAS DUAS VARIÁVEIS DE INDEPENDENTES UTILIZADA NO PROCESSO DE REDUÇÃO DO N-NO_3^- NO SISTEMA DE MEMBRANAS UF/OI. 70

TABELA 16. ANÁLISE DE VARIÂNCIA A ANOVA. 73

TABELA 17. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 79

TABELA 18. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO EXPERIMENTAL PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 80

TABELA 19. DADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) EM RELAÇÃO À REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 81

TABELA 20. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 83

TABELA 21. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO EXPERIMENTAL PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 84

TABELA 22. DADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO PROCESSO EXPERIMENTAL NO SISTEMA MF/NF. 85

TABELA 23. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTDOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 87

TABELA 24. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO PARA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 88

TABELA 25. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS DADOS DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA UF/OI..... 89

TABELA 26. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA UF/OI..... 91

TABELA 27. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 92

TABELA 28. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS VALORES DO PROCESSO DE EXPERIMENTAL DO SISTEMA UF/OI..... 94

TABELA 29. DADOS DA TAXA DE REJEIÇÃO DO PROCESSO EXPERIMENTAL NO SISTEMA MF/NF EM TERMOS DE REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 96

TABELA 30. DADOS DA TAXA DE REJEIÇÃO DO PROCESSO EXPERIMENTAL NO SISTEMA UF/OI EM TERMOS DE REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 96

TABELA 31. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 100

TABELA 32. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO PARA À REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 101

TABELA 33. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS VALORES DO SISTEMA MF/NF. 102

TABELA 34. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA MF/NF.. 104

TABELA 35. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 105

TABELA 36. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS VALORES DO SISTEMA MF/NF 106

TABELA 37. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA UF/OI..... 109

TABELA 38. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 110

TABELA 39. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS VALORES DO SISTEMA UF/OI..... 111

TABELA 40. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA UF/OI..... 113

TABELA 41. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO EXPERIMENTAL PARA À REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 114

TABELA 42. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS VALORES DO SISTEMA UF/OI..... 115

TABELA 43. MÉDIA DA TAXA DE REJEIÇÃO DO PROCESSO EXPERIMENTAL NO SISTEMA MF/NF. 117

TABELA 44. MÉDIA DA TAXA DE REJEIÇÃO DO PROCESSO EXPERIMENTAL NO SISTEMA UF/OI..... 118

TABELA 45. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 122

TABELA 46. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO PARA À REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- 122

TABELA 47. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS VALORES DO SISTEMA MF/NF. 124

TABELA 48. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 125

TABELA 49. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO EXPERIMENTAL PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 126

TABELA 50. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ANÁLISE DOS VALORES DO SISTEMA MF/NF. 128

TABELA 51. ANÁLISES FÍSICO QUÍMICA DA ÁGUA DO POÇO DE URUÇU DO MUNICIPIO DE SÃO JOÃO DO CARIRÍ – PB, DO CONCENTRADO, PERMEADO E A TAXA DE REJEIÇÃO DO SISTEMA MF/NF. 130

TABELA 52. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA UF/OI..... 131

TABELA 53. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO DE SIMULAÇÃO PARA À REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 132

TABELA 54. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DO SISTEMA UF/OI. 133

TABELA 55. DADOS OBTIDOS DA CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- DO PERMEADO E DA TAXA DE REJEIÇÃO A PARTIR DOS RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA UF/OI..... 135

TABELA 56. ANÁLISE DOS TESTES DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DO MODELO MATEMÁTICO GERADO NO PROCESSO EXPERIMENTAL PARA À REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-. 136

TABELA 57. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DO SISTEMA UF/OI. 137

TABELA 58. A MÉDIA DA TAXA DE REJEIÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO NO SISTEMA MF/NF. 139

TABELA 59. A MÉDIA DA TAXA DE REJEIÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO NO SISTEMA UF/OI..... 140

TABELA 60. RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO DE N-NO_3^- DO SISTEMA UF/OI, DO PERMEADO SIMULADO, DO EXPERIMENTAL E TAXA DE REJEIÇÃO EXPERIMENTAL DE N-NO_3^-, SOB UMA PRESSÃO DE 8,2 BAR. 142

TABELA 61. RESULTADOS DA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO SISTEMA MF/NF EM TERMOS DE TAXAS DE REJEIÇÃO EM TODAS AS ÁGUAS ESTUDAS COM N-NO_3^-. 143

TABELA 62. RESULTADOS DA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NO SISTEMA UF/OI EM TERMOS DE TAXAS DE REJEIÇÃO EM TODAS AS ÁGUAS ESTUDAS COM N-NO_3^-. 144

LISTA DE SÍMBOLOS

TR%	Taxa de Rejeição (%);
K_a	Condutividade elétrica da alimentação ($mS.cm^{-1}$);
K_c	Condutividade elétrica do concentrado ($mS.cm^{-1}$);
K_p	Condutividade elétrica da permeado ($mS.cm^{-1}$);
pH	Potencial hidrogeniônico;
r	Recuperação do Sistema (%);
$mg.L^{-1}$	Miligrama por Litro;
P(bar)	Perssão em unidade de bar;
$m^3.m^{-2}h^{-1}$	Metro cúbico por metro quadrado e hora;
mS	Milisiemes;
MF	Membrana de microfiltração;
UF	Membrana de ultrafiltração;
NF	Membrana de nanofiltração;
OI	Osmose inversa;
$[N\text{-}NO_3^-]_A$	Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação ($mg.L^{-1}$);
$[N\text{-}NO_3^-]_C$	Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ concentrado ($mg.L^{-1}$);
$[N\text{-}NO_3^-]_P$	Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ permeado ($mg.L^{-1}$);
$[UF]_A$	Concentração da alimentação da ultrafiltração ($mg.L^{-1}$);
$[UF]_C$	Concentração do concentrado da ultrafiltração ($mg.L^{-1}$);
$[UF]_P$	Concentração do permeado da ultrafiltração ($mg.L^{-1}$);
$[NF]_A$	Concentração da alimentação da nanofiltração ($mg.L^{-1}$);
$[NF]_C$	Concentração do concentrado da nanofiltração ($mg.L^{-1}$);
$[NF]_P$	Concentração do permeado da nanofiltração ($mg.L^{-1}$);
$[OI]_A$	Concentração da alimentação da osmose ($mg.L^{-1}$);
$[OI]_C$	Concentração do concentrado da osmose ($mg.L^{-1}$);
$[OI]_P$	Concentração do permeado da osmose ($mg.L^{-1}$).

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos com a intensificação das atividades industriais e agropecuárias, a poluição das águas foi detectada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que verificou a degradação de aquíferos em todo o mundo. Um dos compostos que começaram a causar preocupações foi o nitrato.

Tornando importante a preocupação com a qualidade e acessibilidade com os padrões de potabilidade da água, no que se refere aos níveis de contaminação da concentração de nitrato na água que apresentam acima do valor máximo permito para o consumo humano que é de 50 $mg.L^{-1}$ segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), no qual pode-se observar no Tabela 1.

Tabela 1. Valores máximos permitidos para ingestão diária de água potável segundo as recomendações internacionais e nacionais.

	Nitrato (mg L^{-1})	Nitrito (mg L^{-1})	Amônio (mg L^{-1})	Fonte
OMS	50	3	1,5	WHO (2011)
Comunidade Europeia	50	0,5	0,5	Barrabés e Sá (2011)
Portaria nº 2.914	44,27 *	3,28 **	1,5	Brasil (2011)

De modo geral, supõem que os valores mais elevados para a concentração de nitrato são observados nas regiões mais antigas, regiões centrais, áreas de grande adensamento urbano e na ausência de um sistema de saneamento apropriado. É uma preocupação que pode ocasionar doenças como exemplo: a síndrome do bebê azul (metahemoglobina) e câncer de estomago.

Com a contaminação de nitrato parece se incrementar como passar dos anos e com o aumento da densidade demográfica, há vários processos de tratamento, incluindo desnitrificação biológica, troca iônica, desnitrificação química, osmose reversa, eletrodiálise e desnitrificação catalítica podem remover nitratos de água com diferentes graus de eficiência, custo e simplicidade (KARANASIOS et al, 2010). A tecnologia promissora que vem sendo usada para a remoção do nitrato em água é a tecnologia de separação por membranas poliméricas, por apresentar uma elevada taxa de rejeição em termos de microorganismos e de composto inorgânicos e orgânicos.

A vários trabalhos científicos em relação à remoção do nitrato em água, o trabalho de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010) por exemplo, determina um modelo de regressão obtido para nitrato em relação à taxa de rejeição do íon bicarbonato usando membrana polimérica nanofiltração e SU-160 (Toray). Uma vez que este trabalho obteve uma compreensão a respeito da concentração os íons bicarbonato que tem um efeito significativo na concentração de íons de nitrato no efluente permeado. O trabalho que se pode ressaltar também é o de GALANAKIS *et al* (2015), o propósito do presente em estudo foi investigar uma água subterrânea salobra utilizando uma membrana de nanofiltração do tipo polypiperazine com uma camada ativa de poliamida. De acordo com os resultados, a membrana testada foi capaz de fornecer uma taxa de rejeição de 70-76% de sais.

Diante dos expostos trabalhos, o presente trabalho visa estudar o desempenho de dois sistemas de membranas tanto em projeto piloto para o uso no campo na reduzir a concentração de nitrato presente em águas de poços doces e salobros, contendo índices de nitrato acima dos padrões de potabilidade da legislação brasileira segundo a resolução vigente 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Onde o sistema membranas poliméricas de micro/nanofiltração se destaca por ter um sistema de via telemetria (***wifi***), que se pode observar a longas distâncias o monitoramento das variáveis de controle como: pressão, temperatura, condutividade e vazão.

Também discutir a análise estatística obtendo um modelo matemático para cada amostra de água, mostrando a melhor região da otimização das variáveis respostas em relação à taxa de rejeição das membranas dos sistemas de membranas microfiltração/nanofiltração e ultrafiltração/osmose inversa para a redução do nitrato no permeado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo principal

O presente trabalho tem como objetivo principal de estudar o desempenho dos sistemas de membranas de microfiltração/nanofiltração (MF/NF) e ultrafiltração/osmose inversa (UF/OI) para fins da redução da concentração do íon nitrato NO_3^- em águas de poços doce e salobra.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar o comportamento da redução da concentração do N-NO_3^- em relação às pressões de operações dos sistemas de membranas: microfiltração/nanofiltração (MF/NF) e ultrafiltração/osmose inversa (UF/OI), para solução de nitrato, águas de poços doce e salobra, por meios de simulações com auxílio dos *softwares Reverse Osmose System Analysis* (ROSA@) da Filmtec e o MiNITAB@ 17.0 para os tratamentos de dados;
- Avaliar o desempenho experimentalmente dos sistemas, em função dos resultados dos processos simulados, visando a redução da concentração N-NO_3^- para os meios aquosos: a solução de nitrato, água doce de poço e de abastecimento da rede do LABDES/UFCG, com adição de nitrato de acordo com o planejamento experimental;
- Estudar o desempenho dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI em função da concentração de nitrato e pressão de operação com água salobra de poço com um STD de 2240 $mg.L^{-1}$ adicionada com nitrato;
- Obter os modelos matemáticos e suas confiabilidades, a partir dos dados experimentais, para os sistemas de membranas MF/NF e UF/OI, nas faixas de pressões e concentrações de nitrato estudadas com auxilio do *software* MINITAB@ versão 17.0.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

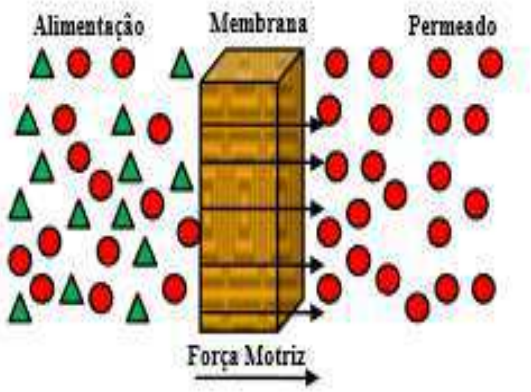
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 MEMBRANAS POLIMÉRICAS

Membrana é definida como uma barreira que separa duas fases e que restringe, ou permite, a passagem de espécies de forma seletiva (HABERT *et al*, 2006, RAVANCHI *et al*, 2009).

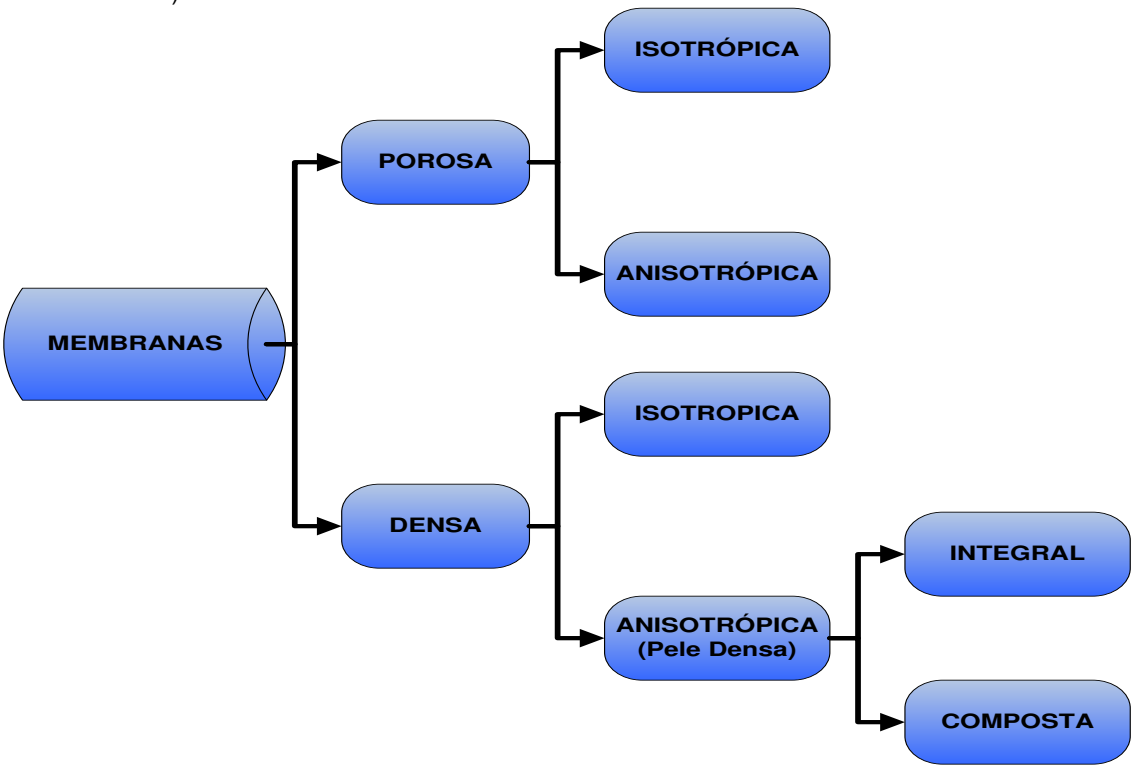
Enquanto, que PORTER *et al* (1990) define membrana como uma estrutura sintética semelhante a uma barreira, a qual separa duas fases, e assim, restringe o transporte de muitas espécies químicas de forma específica e transporta de forma seletiva outras espécies químicas de acordo com a Figura 1.

Figura 1. Esquema geral do modo de separação por membrana.



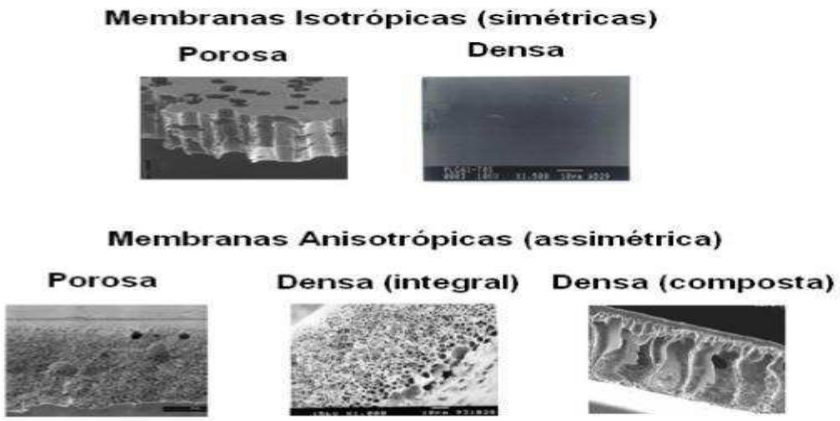
Conforme a necessidade que se deseja para um determinado tipo de separação, será necessário um tipo específico de membrana. A morfologia da membrana e a natureza do material que a constitui são algumas das principais características importantes para definir o tipo de aplicação para determinada membrana e a sua eficiência na separação. A Figura 2 abaixo resume a classificação morfológica básica de membranas.

Figura 2. Classificação das membranas quanto à morfologia. (adaptado pela Fonte: LABDES/2012)



As membranas sintéticas podem ser obtidas a partir de materiais como polímeros, cerâmicas e metais, sendo classificadas como: densas ou porosas, anisotrópicas ou isotrópicas, compostas ou integrais, de acordo com a sua morfologia (Figura 3).

Figura 3. Representação esquemática das principais morfologias de membranas. (Fonte: Amaral, 2009)



Os Processos de separação por membranas (PSM) representam uma classe de processos da Engenharia Química que utilizam membranas sintéticas para a separação de substâncias das mais variadas espécies e tamanhos, estabelecendo de forma consolidada e comercialmente a exemplo nos setores industriais, químico, farmacêutico, e alimentício.

Os PSM podem ser classificados de acordo com a força motriz do processo. No tratamento de água os gradientes de pressão é força motriz utilizada, entretanto podem ser encontrados processos que têm como força motriz os gradientes de concentração, potencial elétrico e pressão de vapor.

Segundo WANG *et al* 2005, as membranas que tem como força motriz o gradiente de pressão, são capazes de remover substâncias nas seguintes faixas de separação:

• Microfiltração: 0,1 a 10 μm;
• Ultrafiltração: 0,001 a 0,1 μm;
• Nanofiltração: moléculas de massa molar média, entre 500 e 2.000 Da;
• Osmose inversa: moléculas solúveis (membrana densa).

A Tabela 2 resume os PSM que utilizam gradiente de pressão como força motriz.

Tabela 2. Resumo dos PSM e aplicações baseada em HABERT *et al* 2006.

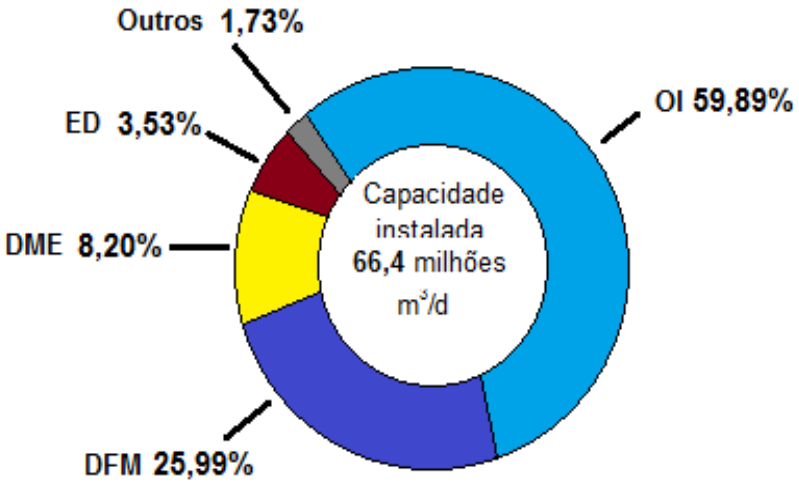
PROCESSO	FORÇA MOTRZ (ΔP)	MATERIAL REITDO	APLICAÇÕES
MICROFILTRAÇÃO (MF)	**0,5 – 2 atm**	**Material em suspensão, Bactérias**	**Esterilização Bacteriana.**
ULTRAFILTRAÇÃO (UF)	**1 – 7 atm**	**Colóides, macromoléculas**	**Recuperação de óleos/pigmentos.**
NANOFILTRAÇÃO (NF)	**5 – 25 atm**	**Sais bivalentes solúveis e em suspensão**	**Purificações de resinas.**
OSMOSE INVERSA (OI)	**15 – 80 atm**	**Todo material solúvel em suspensão**	**Dessalinização de águas**

De acordo com PARQUE *et al* (2012), é uma tecnologia promissora para a remoção melhorada dos contaminantes podendo ser separado por membranas poliméricas, que tem uma elevada rejeição de compostos e microorganismos inorgânicos e orgânicos, em águas de alimentação.

Os processos com membranas são responsáveis por mais de 60% da produção mundial de água potável, com destaque para a osmose inversa (OI) e a eletrodiálise (ED) (BUONOMENNA, 2013). Para PEÑATE e RODRÍGUEZ (2012) os processos térmicos ocupam a parte restante, destacando-se a destilação flash multi-estágio (DFM) e a destilação multi-efeito (DME).

A Figura 4 compara a capacidade instalada das principais tecnologias de dessalinização de água operadas no mundo.

Figura 4. Capacidade dos processos de dessalinização no mundo, referente ao primeiro bimestre de 2012. (Baseado em: GHAFFOUR et al., 2013).



Os custos de dessalinização vêm caindo para todas as tecnologias, particularmente na última década. Com o desenvolvimento do processo de osmose inversa, o custo de produção de água dessalinizada, por este processo, caiu atualmente para menos de US$ 0,50/m³, para produção em larga escala (CHEW *et al* 2015). A Tabela 3 apresenta uma comparação dos custos da dessalinização de água pelos diferentes processos.

Tabela 3. Custo atual de produção de água por diferentes processos de dessalinização (adaptado à tabela de AL-KARAGHOULI e KAZMERSKI, 2013).

PROCESSO	CAPACIDADE ($m^3.d^{-1}$)	CUSTOS (US$.$m^{-3}$)
MSF	23.000 – 528.000	0,52 – 1,75
MED	> 95.000	0,52 – 1,01
	12.000 – 55.000	0,95 – 1,95
OI	100.000 – 320.000	0,45 – 0,66
	15.000 – 60.000	0,48 – 1,62
	1.000 – 4.800	0,7 – 1,72

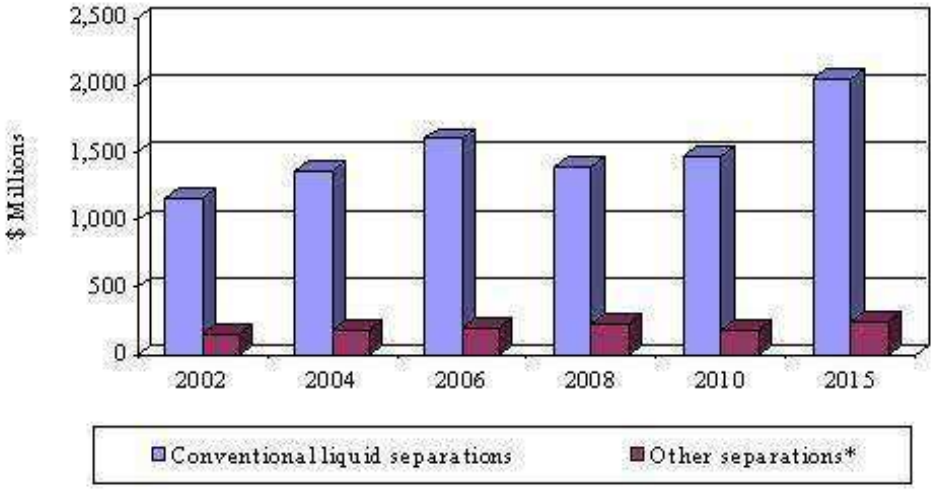
Segundo GHAFFOUR *et al* (2013) a queda no custo da água produzida é favorecida pelas plantas de produção em larga escala, com elevada capacidade de produção, competição com outras tecnologias, melhores materiais, diminuição do consumo de energia, assim como a simplicidade e flexibilidade dos projetos das plantas.

De lá para cá, o mercado de separação por membranas cresceu muito, por exemplo, no mercado norte-americano, os processos combinados de separações de líquidos e gases foram estimados em aproximadamente US$ 1,7 bilhões em 2010, tendo uma previsão de crescimento anual de 6,9% (OHLAND, 2015).

Com isso a estimativa para o mercado estadunidense de separações por membranas é que, em 2015, atinja 2,3 bilhões de dólares, segundo o relatório da BCC research, como mostra a Figura 5.

As vendas combinadas dos produtos utilizados na separação de gases, pervaporação, e processos inovadores têm uma previsão de crescimento de 6,6% ao ano até 2015, partindo de US$ 180 milhões em 2010 para US $ 247 milhões em 2015 (OLIVEIRA, 2012).

Figura 5. Evolução e perspectiva do mercado norte-americano de membranas.



No Brasil, o sistema de dessalinização de água já é usado em nove estados. Cercada pelo mar, a ilha de Fernando de Noronha é abastecida com 60% de água oriunda de dessalinização por osmose inversa. O sistema de dessalinização funciona na ilha desde 1999, em parceria com a Companhia de Abastecimento de Água de Pernambuco (COMPESA, 2014).

Há um programa federal de dessalinização no Brasil, chamado Programa Água Doce, que começou a ganhar força na década de 90 sendo ampliado nos governos subsequentes (RODRIGUES *et al*, 2014).

2.2 REDUÇÃO DO NITRATO (NO_3^-) EM ÁGUAS

2.2.1 Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é um elemento importante no ciclo biológico. O tratamento biológico dos esgotos só pode ser processado com a presença de uma quantidade suficiente de nitrogênio.

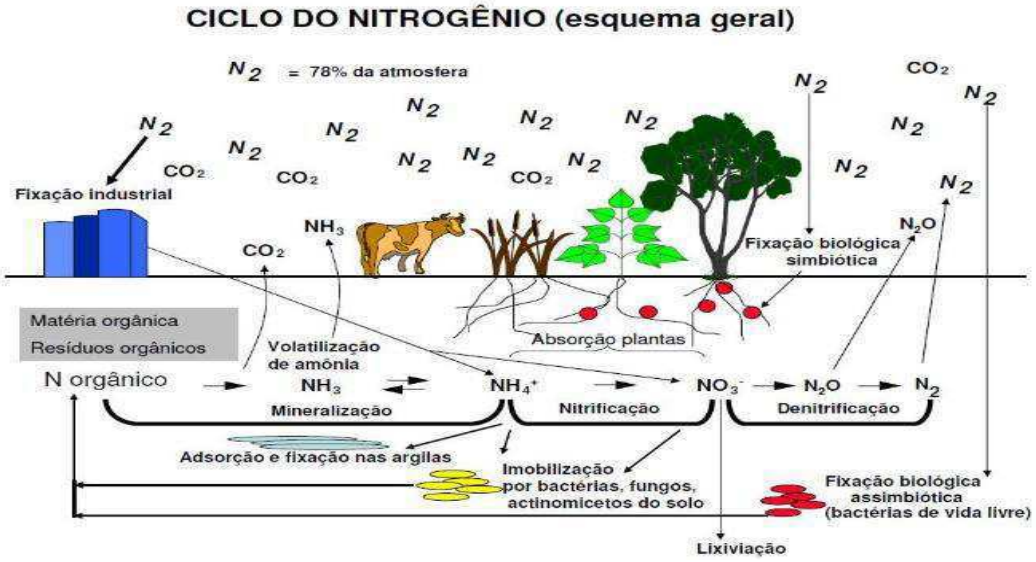
A quantidade de nitrogênio na água pode indicar uma poluição recente ou remota. Inclui-se nesse item o nitrogênio, sob as suas diversas formas compostas, **orgânico, amoniacal, nitritos e nitratos.**

O nitrogênio segue um ciclo desde o organismo vivo até a mineralização total, esta sob a forma de nitratos, sendo assim possível avaliar o grau e a distância de uma poluição pela concentração e pela forma do composto nitrogenado presente na água.

Por exemplo, águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por uma descarga de esgoto próxima. Águas com concentrações de nitratos predominantes indicam uma poluição remota, porque os nitratos são o produto final de oxidação do nitrogênio.

As principais transformações do N podem ser resumidas no seguinte ciclo de acordo com a Figura 6:

Figura 6. Ciclo do Nitrogênio



No ciclo do nitrogênio existem quatro mecanismos:

1. **Fixação do nitrogênio atmosférico em nitratos**. O nitrogênio fixado é rapidamente dissolvido na água do solo e fica disponível para as plantas na forma de nitrato, NO_3^-. Estas plantas transformam os nitratos em grandes moléculas contendo nitrogênio e outras moléculas orgânicas nitrogenadas, necessárias a vida. Inicia-se então o processo de amonificação.
2. **Amonificação (Mineralização)**. Quando o nitrogênio entra na cadeia alimentar, ele passa a constituir as moléculas orgânicas dos consumidores. Atuando sobre os produtos de eliminação desses consumidores e do protoplasma de organismos mortos, as bactérias mineralizam o nitrogênio produzindo gás amônia, NH_3, e sais de amônio, NH_4^+.
3. **Nitrificação.** Os sais de amônio e o gás amônia são convertidos em nitritos, NO_2^-, e, posteriormente no processo de nitrificação de nitrito em nitratos, NO_3^-, por um grupo de bactérias quimiossintetizantes. A passagem de amônia a

nitrito é feita pelas Nitrossomonas; e a passagem a nitratos pelas bactérias Nitrobacter**.** Este processo de nitrificação se processa aerobiamente.

4. **Desnitrificação**. Por fim, retorna-se ao nitrogênio, $N_2(g)$, a partir do nitrato, pela ação das Pseudomonas. A desnitrificação é anaeróbia e ocorre em solos pouco aerados (BRAGA *et al*, 2005).

Independentemente da sua origem, que também pode ser mineral, os nitratos (em concentrações acima de 50 mg/L em termos de NO_3^-), provocam em crianças a cianose ou metahemoglobinemia, condições mórbidas associadas à descoloração da pele, em consequência de alterações no sangue. Alta concentrações de nitrato (NO_3^-) em fontes de água potável pode levar a um risco potencial para o ambiente e a saúde pública. Nos seres humanos, o aumento da concentração de nitrato (NO_3^-) na água potável causa dois efeitos adversos à saúde: a indução da "síndrome do bebê azul" (metemoglobinemia), especialmente a formação do potencial de nitrosaminas e nitrosamidas cancerígenas (MAJUMDAR *et al*, 2000).

Entretanto os estudos mais recentes reconhecem-se agora que a administração de nitrato oral ($NO_3^- < 45mg/L$), nas suas várias formas, aumenta o nível de óxido nítrico (NO) em metabolitos da circulação de seres humanos. Nitrato dietético (NO_3^-) é a suplementação por meio de suco de beterraba mostrando um aumentar da capacidade de exercício dos adultos jovens e mais velhos (JAMES *et al*, 2015).

A sua aplicação para modular a fisiologia e aliviar a disfunção cardiovascular mostra a promessa particular em certas condições clínicas e coortes de doentes, incluindo a redução da pressão arterial média em hipertensão e, quiescência eficaz de ativação de plaquetas/agregação, e de redução risco em condições em que a isquemia do tecido prevalece. No entanto, é o potencial de NO por via oral NO_3^- para modificar exercício/desempenho através do aumento da concentração de nitrito de plasma (NO_2^-), que tem sido aplicada em toda uma gama de sistemas de testes humanos, a partir dos efeitos de uma curta distância em uma sedentária população para melhorar o desempenho em atletas de elite.

O potencial do NO por via oral NO_3^- para modificar o exercício/performance via elevação da concentração de nitrito no plasma (NO_2^-) foi aplicado em uma variedade de sistemas de testes humanos, (JAMES *et al*, 2015).

2.2.2 Níveis de nitrato (NO_3^-) em águas

A potencialidade de água subterrânea no território nacional não é uniforme, ocorrendo regiões de escassez e outras com relativa abundância. Há localidades com significativa disponibilidade hídrica, como aquelas abrangidas pelo aquífero Guarani e aquíferos sedimentares em geral, e outras com disponibilidade baixa, como aquelas de ocorrência das rochas cristalinas no semiárido brasileiro (PNRH, 2006).

As águas de poços e de fontes vêm sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do Brasil a água subterrânea representa o principal manancial hídrico. Ela desempenha importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país e permite o atendimento de comunidades pobres ou distantes das redes de abastecimento público (PNRH, 2006).

Na agricultura brasileira, a demanda pelas águas subterrâneas vem crescendo fortemente nas últimas décadas. Esta já é amplamente utilizada na irrigação em diversas regiões, como o oeste baiano e a Chapada do Apodi (RN/CE). No semiárido nordestino brasileiro onde a produtividade dos poços apresenta vazões muito baixas (comumente inferiores a $3m^3.h^{-1}$) e a água possui elevada salinidade, em muitas pequenas comunidades esses poços constituem a única fonte de abastecimento disponível (PNRH, 2006).

Em muitos países, a preocupação pública com a deterioração da qualidade das águas subterrâneas com a contaminação de nitrato (NO_3^-) tem crescido significativamente nos últimos anos. Esta preocupação tem-se concentrado cada vez mais em fontes antropogênicas como a causa potencial do problema (BRIÃO *et al*, 2014).

O advento da revolução industrial, o crescimento acelerado das cidades e da população, a contaminação dos reservatórios de água doce, efeitos climáticos e a distribuição irregular da água fizeram e fazem com que várias regiões sofram com a falta de água potável no Brasil e no mundo (BRIÃO *et al*, 2014).

Os dados apontam para um problema urgente, tendo em vista que as principais fontes de contaminação são vazamentos na rede de esgoto decorrentes da falta de manutenção, fertilizantes utilizados no meio rural, resíduos animais, resíduos sólidos e sistemas de saneamento. Assim, em concentrações acima de 10 $mg.L^{-1}$ como nitrogênio-nitrato e, 45 $mg.L^{-1}$ como nitrato pode provocar a síndrome do bebê azul, que afeta somente a crianças de até um ano de idade (HIRATA, 2014).

Degradação da qualidade das águas subterrâneas devido à poluição por nitratos, juntamente com a crescente demanda por água potável tem motivado a adoção de ações de restauração dos aquíferos contaminados.

Estudos recentes têm demonstrado que o excesso de NO_3^- na água potável também pode ser responsável por causar diversos tipos de cânceres em humanos. Mantendo-se com a visão de que sérios problemas de saúde estão associados com o excesso concentrações de NO_3^- na água de beber, várias agências reguladoras ambientais, incluindo a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA EUA) criaram um nível de contaminação máximo (MCL) de 10 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$ na água potável. A água contaminada com nitrato deve ser tratada adequadamente para atender às regulamentações aplicáveis (BHATNAGAR *et al*, 2011).

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), através da sua Resolução n°357 de 2005, classifica cinco classes de água segundo seus usos preponderantes, estabelecendo nas quatro classes que podem ser utilizadas para abastecimento e consumo humano, o limite de nitrito ($N\text{-}NO_2^-$) de 1,0 $mg.L^{-1}$ e 10,0 $mg.L^{-1}$ para nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) de acordo com a legislação vigente.

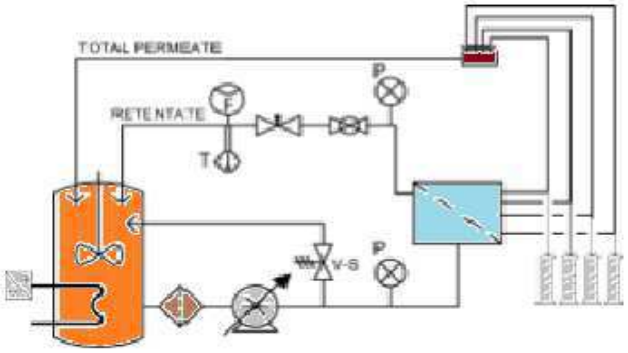
Dentre as diversas tecnologias de tratamento aplicadas para a remoção de nitrato, adsorção tem sido explorada amplamente e oferece resultados satisfatórios, especialmente com adsorventes modificados à base de minerais e/ou de superfície (BHATNAGAR *et al*, 2011).

2.2.3 Remoção do nitrato ($N0_3^-$) em águas.

Em trabalhos realizados para a remoção do nitrato em águas subterrâneas com 50-150 $mg.L^{-1}$ de íon nitrato e baixa salinidade, é um tipo muito comum de águas na região da Espanha, pode-se se destacar os trabalhos publicados por MOROS et al :

- A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2005), estudou a eficiência na remoção do nitrato por três membranas de nanofiltração comerciais, NF90, NF270 (Dow-Filmtec) e ESNA1-LF (Hidranautics), a rejeição dos íons nitrato foi estudada usando $NaNO_3$ com soluções modelos de diferentes concentrações abaixo de 50 $mg.L^{-1}$ e pH como o fator mais influente. A planta piloto deste estudo esta representado pela Figura 7.

Figura 7. Esquema de NF da planta piloto referente ao estudo de MOROS et al.

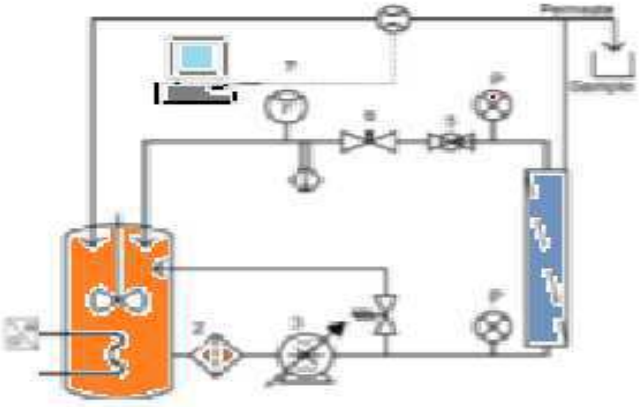


Eles concluíram que a aplicação da tecnologia de nanofiltração podem ser úteis para a produção de água potável a partir de água salobra com a concentração de íons de nitrato abaixo de 150 $mg \cdot L^{-1}$.

- A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2007), avaliou a rejeição do íon nitrato em águas subterrâneas através os experimentos foram realizados em um piloto com uma membrana enrolada em espiral módulo NF90-2540. Esta membrana é uma película fina poliamida compósito

fabricado pela (Dow-Filmtec). A influência de diferentes tipos de contra-iões de nitrato de rejeição foi estudado para o sódio, cálcio e magnésio usando soluções contendo $Ca(NO_3)_2/NaNO_3$ e $Mg(NO_3)_2/NaNO_3$, ambos os estudos foram realizados em dois níveis de pH de 7 a 9, com concentração de nitrato aumentando de 20 a 1000 $mg.L^{-1}$ na água de alimentação. Onde se observa o esquema da planta piloto NF da Figura 8:

Figura 8. Esquema da planta piloto baseado no estudo de A. SANTAFÉ-MOROS et al.



Os resultados mostraram que foi possível a diminuição da concentração de nitrato em águas subterrâneas com o nível de concentração abaixo de 50 $mg.L^{-1}$ para o consumo humano.

O trabalho de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2007), mostrou a influencia dos tipos de sais de nitrato $Ca(NO_3)_2/NaNO_3$ e $Mg(NO_3)_2/NaNO_3$ em relação a rejeição do nitrato em águas subterrâneas, já o referente trabalho usou-se dois sistemas de membranas MF/NF e UF/OI para observar o melhor desempenho de cada sistema em águas subterrâneas doce e salobras com o mesma faixa de concentração usada por A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2007).

- A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010), estudou o efeito da rejeição dos íons nitrato em relação ao bicarbonatos e a outros anions através das membranas de nanofiltração e SU-160 (Toray), com concentrações do íon bicarbonato no intervalo de 4 a 32$mol.m^{-3}$ e do íon nitrato de 1 a 4$mol.m^{-3}$ mantendo o pH constante. Determinando um modelo de regressão obtido para nitrato em relação à rejeição do

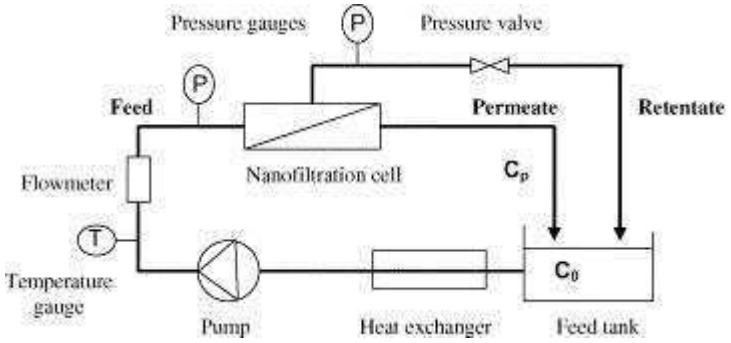
íon bicarbonato mostrando um bom ajuste aos resultados experimentais (R-quadrado igual a 99,3% e 97,6%, respectivamente). De acordo com a Equação 2.0.

$$\mathbf{R_{NO_3^-}}(\%) = -\mathbf{5.4681} - \mathbf{2.0218} * \mathbf{C_{HCO_3^-}} + \mathbf{10.2027} * \mathbf{J_V} - \mathbf{0.3225} * \mathbf{J_V^2} + \mathbf{0.0324} * \mathbf{C_{HCO_3^-}} * \mathbf{J_V} \quad \textbf{(2.0)}$$

Eles concluíram que a concentração os íons bicarbonato tem um efeito significativo na concentração de íons de nitrato no efluente permeado.

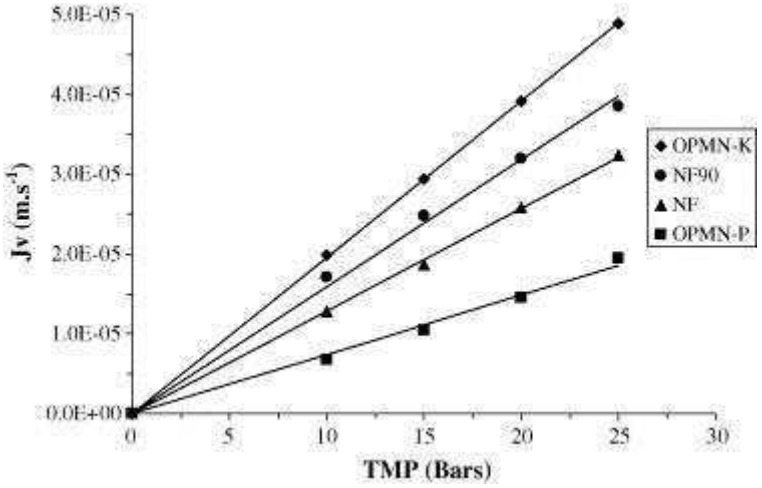
No trabalho de GARCIA *et al* (2006), foi realizado o estudo sobre a eliminação de nitratos em quatro tipos de membranas de nanofiltração (NF, NF90, OPMN-P e K-OPMN) com a célula de membrana plana usado tendo uma área efetiva de 86 x 10^{-4} m^2 e uma variação na pressão de 10 a 25 bar, o qual pode-se observar a montagem do experimento na Figura 9.

Figura 9. Estrutura do processo experimental. Fonte: GARCIA et al (2006).



O objetivo foi realizar experimentos utilizando o nitrato de sódio em uma água osmótica (2mS/cm) no preparo de uma solução com diferentes concentrações (20 a 300 ppm). O qual foi obtido o comportamento do fluxo em relação a pressão de operação transmembrana de cada membrana, o qual pode-se observar na Figura 10.

Figura 10. Gráfico do fluxo versus pressão transmembrana de cada membrana. Fonte: GARCIA et al (2006).

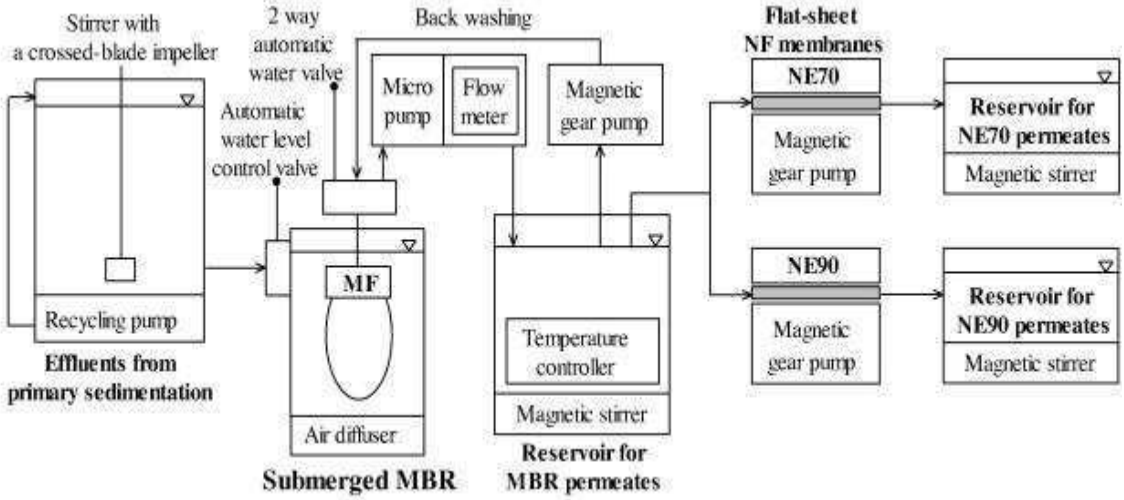


Neste trabalho os autores usaram uma membrana de nanofiltração do tipo NF90, onde pode-se observar na Figura 10 que a membrana NF90 obteve o seu maior fluxo de 3 x 10^{-5} $m.s^{-1}$ equivalente a 1,5 x 10^{-2} $m^3.m^{-2}h^{-1}$. Concluíram que o desempenho do processo depende das características das membranas de nanofiltração, onde a melhor membrana de nanofiltração na retenção do nitrato foi a membrana NF90 com uma taxa de rejeição aproximadamente de 88%.

Para KIM *et al* (2007), a nanomembrana (NTR 729HF) e os três tipos diferentes de osmose reversa (CPA2, LFC1, e ESPA1) foram testados para o tratamento de alta concentração de nitrato de águas residuais da indústria. Todas as membranas de RO testados apresentaram taxas de rejeição mais elevados (90-99% em 1000-1060 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$) do que a membrana NF. A taxa de rejeição e fluxo de membranas de RO não foram afetada pela variação de pH e Ca^{2+} . Concluindo que a taxa de rejeição de NF foi de 67% com uma concentração na alimentação 60 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$.

Já KANGMIN *et al* (2015), estudou a eficiência de remoção e mecanismos de contaminantes da água (principalmente N-nitrosamina) durante a recuperação de águas residuais em um sistema híbrido composto por um biorreator de membrana (MBR) e nanofiltração (NF). O sistema hibrido foi representado de acordo com a Figura 11.

Figura 11. Descrição do sistema híbrido MBR e NF para recuperação de águas residuais municipais. Fonte: KANGMIN et al (2015).



À medida que os seus resultados chegaram a uma eficiência de remoção de 45 a 84%, dependendo da reatividade dos grupos funcionais de amina com as enzimas catalíticas, sendo o mecanismo de remoção dominante para as *N* - nitrosaminas (eficiência de remoção: NF90 > NF70).

Para RAZI *et al* (2015), realizaram um estudo para remoção do íon nitrato em águas subterrâneas com uma produção de baixa salinidade usando duas fases: A preferência inerente de determinadas membranas de NF de rejeição de cloreto de sódio e mais de íons nitrato é utilizado em uma fase preliminar para remoção de Na^{+}, Cl^{+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} para um fluxo lateral. Numa segunda fase, RO é aplicado para remover NO_3^{-} e o permeado da RO é misturado com o fluxo lateral da fase de NF para criar o produto que tenha uma baixa quantidade de nitrato na água, ainda com uma composição equilibrada consistindo todas as espécies e sais minerais necessários. O sistema consiste de um passo de NF seguido por filtração RO, atingindo umas altas recuperações totais de 91,6% e 94,3% pode ser alcançado para o esquema de NF simples e dupla, respectivamente.

O trabalho que se pode ressaltar foi o de GALANAKIS *et al* (2012), o propósito do presente estudo foi investigar uma água subterrânea salobra utilizando uma membrana de nanofiltração do tipo polypiperazine com uma camada ativa de poliamida. Particularmente, as amostras de água utilizadas alcançava um valor de dureza e salinidade (até 762 $mg.L^{-1}$ de $CaCO_3$ e 1803

mg.L^{-1} de NaCl, respectivamente) foram recolhidas e tratadas sob pressões transmembrana na faixas de 6-10 bar, de um módulo de nanofiltração de fluxo cruzado. De acordo com os resultados, a membrana testada foi capaz de fornecer uma taxa de rejeição de 70-76% em dureza.

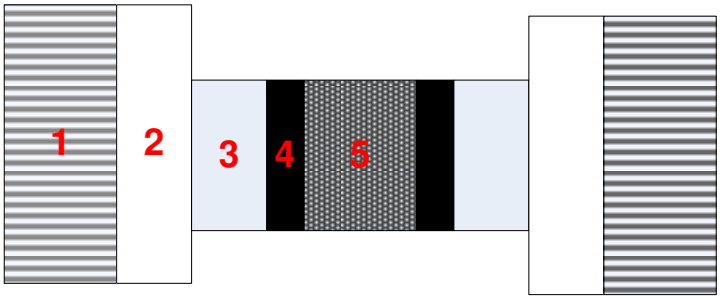
Há vários processos de tratamento, incluindo desnitrificação biológica, troca iônica, desnitrificação química, osmose reversa, eletrodiálise e desnitrificação catalítica podem remover nitratos de água com diferentes graus de eficiência, custo e simplicidade (KARANASIOS *et al* 2010).

Pode-se falar de outros tipos de tratamentos para remoção do nitrato em águas sem usar membranas poliméricas, no qual pode citar a remoção de nitrato em dois estágios utilizando os tratamentos biológicos e químico (JAE LEE et al 2007), no tratamento biológico para o nitrato foi usado a bactéria *Pseudomonas sp.* Já no tratamento químico foram utilizados coagulantes do tipo: cal, fonte de carbono (glucose, amido e celulose), no qual o amido a 1% foi mais eficaz alcançando 86% a 89% de nitrato removido. Comparado com esta pesquisa, o presente trabalho não precisou de agentes biológicos e nem coagulantes químicos para a remoção do nitrato.

O trabalho de MOHAMED *et al* (2015), foi a remoção de íons de nitrato de solução aquosa usando nanopartículas de ferro de zero-valência (ZVINPs). O mecanismo de redução de nitrato por ZVINPs foi explorada, e os resultados mostraram que os íons de nitrato pode ser reduzido a nitrito ou em amônio, que, em seguida, reduzido a azoto gasoso. A maioria dos íons nitrato pode ser removido no prazo de 16 horas a condições ambientais, e que este tempo pode ser reduzido para 3 horas usando ultra-sons obtendo uma taxe de remoção de 87,9 %. Um aumento adicional no tempo de ultra-sons foi associada com aumento insignificante no nitrato cento removidos da solução até que se atingiu 90,8% depois de 5 h.

Já o trabalho de ROMAIN *et al* (2009) delineia a remoção de sólidos totais dissolvidos TDS, nitratos e íons de amônio em água potável utilizando charge-barreira capacitiva deonização. Charge-barreira capacitiva deonização foi eficaz na remoção de TDS (80,9% - 94,3%), nitratos (88% - 98%) e íons de amônio (71,9% - 88,1%) a partir de fluxos de água. No qual se pode obsevar o Charge-barreira capacitiva deonização na Figura 12.

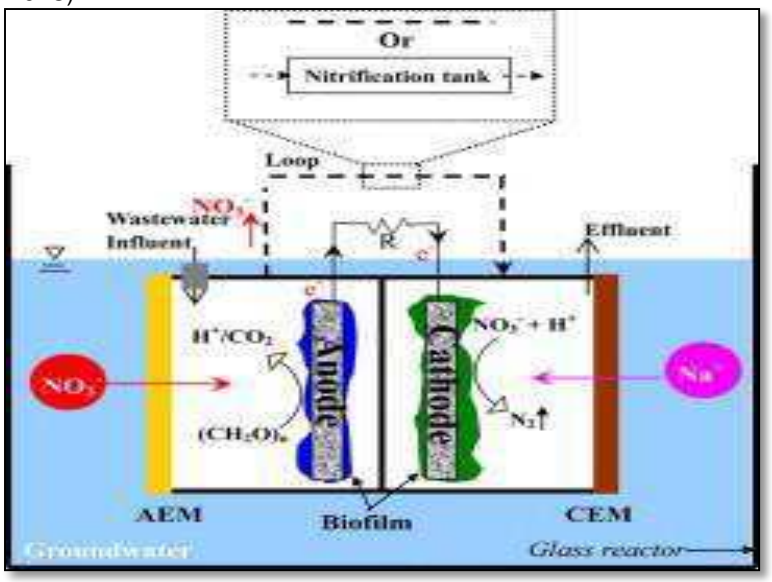
Figura 12. Esquema do sistema CDI charge-barreira adaptado do trabalho Romain et al (2009): Suporte de 1 - Pilha, coletor 2 - Corrente, 3 - Eletrodo, 4 - Charge-Barreira, 5 – Fluxo Espaçador.



Observou-se que aumentando a concentração de TDS conduziram a uma redução na remoção dos íons nitratos e íons de amônio devido à competição por sítios de adsorção elétrodos de carbono. Dai a remoção dos íons nitratos diminuiu de 98,0% para 88,0% quando ocorria a adição de 1000 mg/L de NaCl, enquanto remoção de íons de amônio diminuiu de 88,1% para 71,9% quando ocorria a adição de 2850 mg/L de NaCl.

Já ZHANG *et al* (2013) em seus estudos em relação a remoção do nitrato em águas subterrâneas com concentração até 50,5 mg.L^{-1} de nitrato, foi utilizado um célula de dessalinização-desnitrificação microbiana (SMDDC). Os resultados alcançados foram de 92% na remoção do nitrato. A Figura 13 representa o sistema SMDDC utilizado para remoção do nitrato em águas subterrâneas.

Figura 13. Sistema utilizado por ZHANG et al para remoção do nitrato. (Fonte: Pesquisa da Água – 2013).



As pesquisas existentes contemplaram estudos sobre a remoção do nitrato (NO_3^-) em membranas poliméricas do tipo NF e OI como também em outros tipos de tratamentos. Ressaltando a taxa de rejeição em membranas poliméricas em relação á concentração do nitrato em águas para produção de água potável.

Perante aos expostos trabalhos, o presente trabalho tem por objetivo em realizar a redução do $N\text{-}NO_3^-$ através de dois de sistemas de membranas poliméricas do tipo microfiltração/nanofiltração (MF/NF) e ultrafiltração/osmose inversa (UF/OI), em função das pressões de operação de cada sistema versus concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em um mostra de água (solução de nitrato, doce e salobra). Pode-se observar o desempenho de cada sistema em relação do tipo de água ofertada (doce ou salobra), podendo os sistemas a ser emplantados no campo (nas regiões onde os níveis de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ forem maiores do que 10 $mg.L^{-1}$) obtendo à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado dos referidos sistemas, obedecendo os padrões de potabilidade exigida segundo a resolução vigente 2914/2011 do Ministério da Saúde.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E METODOS

3. MATERIAIS E MÉTODOS

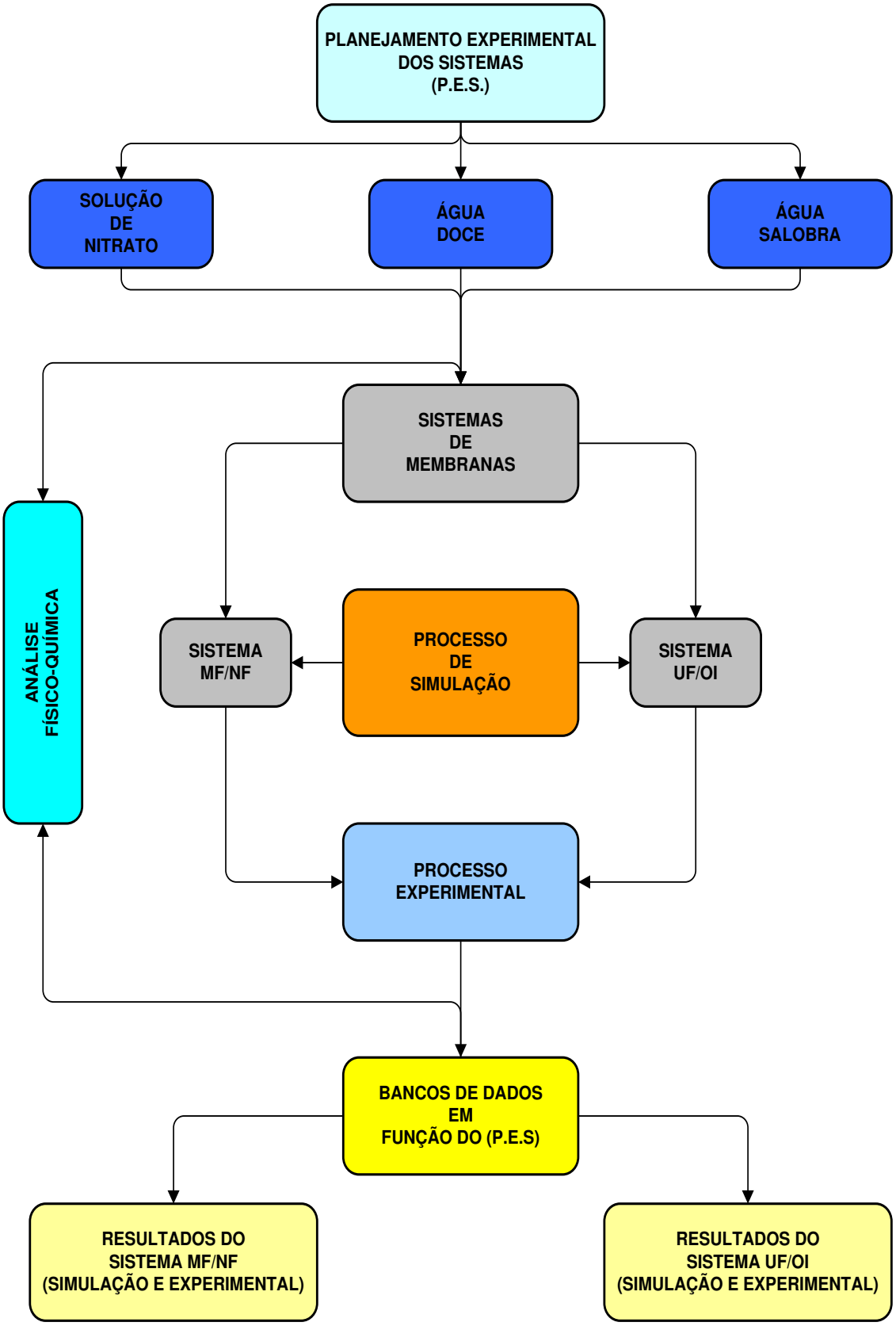
A metodologia do presente trabalho foi realizada em duas etapas. A primeira etapa concerne à obtenção de dados obtidos pela simulação observando os níveis de rejeição do $N\text{-}NO_3^-$ nos sistema de membranas MF/NF UF/OI, a partir das análises físicas químicas das amostras de águas, fazendo uso de um software do tipo *Reverse Osmose System Analyses* (ROSA) de processamento de membranas.

Na segunda etapa, tratou-se da parte experimental, ao qual foi realizada no âmbito do Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

Os testes de simulação dos processos de membranas e os experimentos foram realizados seguindo o planejamento experimental e análises estatísticas estudadas previamente.

A Figura 14 apresenta o fluxograma do processo dos sistemas de membranas de micro/nanofiltração e ultra/osmose inversa, usados para estudar o processo da redução de nitrato presentes em águas.

Figura 14. Fluxograma do processo de membranas.



3.1 MATERIAIS

3.1.1 Solução de nitrato

A solução de nitrato foi obtida a partir de uma água dessalinizada da rede de abastecimento do LABDES/UFCG, conforme mostra a análise física química da água permeada na Tabela 4, a qual se enquadra dentro dos padrões de potabilidade de acordo com as normas da Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

A solução de nitrato foi preparada com a adição do nitrato de sódio ($NaNO_3$) na água dessalinizada, para se obter os níveis de concentrações do planejamento experimental, onde as concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ são as seguintes: 0,67 $mg.L^{-1}$, 4,0 $mg.L^{-1}$, 12,0 $mg.L^{-1}$, 20,0 $mg.L^{-1}$ e 23,5 $mg.L^{-1}$. Estas faixas de concentrações foram determinadas em relação a portaria 2914/2011 do ministério da saúde, onde o valor permissível é de 10 $mg.L^{-1}$.

Tabela 4. Parâmetros físico químicos da água dessalinizada usada no preparo da solução de nitrato, realizada pelo Laboratório de Referência de Dessalinização (LABDES)/UFCG, conforme mostra o Laudo Técnico no Apêndice A.

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 °C	95,1	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	6,8	**6,0 a 9,5**
Turbidez, (uT)	0,0	**5,0**
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	0,0	**15,0**
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	1,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	0,5	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	4,5	**500,0**
Sódio (Na^+), mg/L	17,5	**200,0**
Potássio (K^+), mg/L	0,0	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	**0,2**
Ferro Total, mg/L	0,00	**0,3**
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	4,8	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	4,8	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	2,7	**250,0**
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	24,9	**250,0**
Nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), mg/L	**0,00**	**10,0**
Nitrito ($N\text{-}NO_2^-$), mg/L	0,00	**1,0**
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	**1,5**
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,1	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-3,96	**≤ 0**
TDS(Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180ºC), mg/L	52,5	**1.000,0**

3.1.2 Água doce

Os sistemas de membranas foram operados com água do poço tubular *Felipe Camarão,* localizado na Capital do Estado do Rio Grande do Norte, o qual fica situado no âmbito da Companhia Água (CAERN), o qual se encontram Anexo D a autorização da companhia do uso da análise físico-química da água, conforme mostra na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros físico-químicos da água do poço tubular Felipe Camarão da CAERN, realizada pelo Laboratório de Referência de Dessalinização (LABDES)/UFCG, conforme mostra o Laudo Técnico no Apêndice A.

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 ºC	291,9	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	**6,0 a 9,5**
Turbidez, (uT)	1,0	**5,0**
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	**15,0**
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	5,4	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	11,4	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	61,0	**500,0**
Sódio (Na^{+}), mg/L	30,4	**200,0**
Potássio (K^{+}), mg/L	2,7	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,04	**0,2**
Ferro Total, mg/L	0,02	**0,3**
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	21,1	**250,0**
Fósforo Total, mg/L	0,1	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	66,7	**250,0**
N-Nitrato (NO_3^{-}), mg/L	**20,8**	**10,0**
N-Nitrito (NO_2^{-}), mg/L	0,02	**1,0**
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	**1,5**
Sílica, mg/L (SiO_2)	6,3	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,55	**≤ 0**
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	197,3	**1.000,0**

3.1.3 Água estudadas (com adição de NO_3^{-})

Considerando que as fontes das águas salobras estudadas, conforme mostram as análises físico-químicas, não apresentaram teores de $N\text{-}NO_3^{-}$ significativos, estas então receberam o mesmo tratamento aplicado a água enriquecida com nitrato, assim como segue:

Fontes hídricas:

- Água tratada da rede de abastecimento oriunda do Açude Epitácio Pessoa, localizado na Cidade de Boqueirão no Estado da Paraíba, não apresentou a presença de nitrato em sua composição química, como mostra a análise físico-química na Tabela 6. Nesse caso foi adicionado nitrato de sódio ($NaNO_3$), para uma concentração de N-NO_3^- igual a 20,8 $mg.L^{-1}$.

Tabela 6. Parâmetros físico-químicos da água do Açude Epitácio Pessoa localizado na Cidade de Boqueirão, realizada pelo Laboratório de Referência de Dessalinização (LABDES)/UFCG, conforme mostra o Laudo Técnico no Apêndice A.

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 ºC	1596,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	8,0	**6,0 a 9,5**
Turbidez, (uT)	0,5	**5,0**
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	**15,0**
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	34,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	47,9	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	284,5	**500,0**
Sódio (Na^+), mg/L	207,4	**200,0**
Potássio (K^+), mg/L	5,3	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	**0,2**
Ferro Total, mg/L	0,02	**0,3**
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	33,0	**250,0**
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	438,8	**250,0**
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	**0,0**	**10,0**
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,004	**1,0**
Amônia (NH_3), mg/L	0,31	**1,5**
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,0	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,07	**≤ 0**
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	877,5	**1.000,0**

- A outra fonte foi água de um poço tubular, localizado no Distrito de Uruçu da Cidade de São João do Cariri do Estado da Paraíba. A Tabela 7 mostra a análise físico-química da água do poço, a qual também não apresentou o nitrato em sua composição química. Para esse caso específico essa água foi utilizada para os experimentos com os sistemas MF/NF e UF/OI com adicionamento de $NaNO_3$ para as seguintes concentrações de N-NO_3^- : 5 $mg.L^{-1}$, 10 $mg.L^{-1}$, 15 $mg.L^{-1}$ e 20 $mg.L^{-1}$.

Tabela 7. Parâmetros físico-químicos da água do poço tubular Localizado no Distrito de Uruçu, realizada pelo Laboratório de Referência de Dessalinização (LABDES)/UFCG, conforme mostra o Laudo Técnico no Apêndice A.

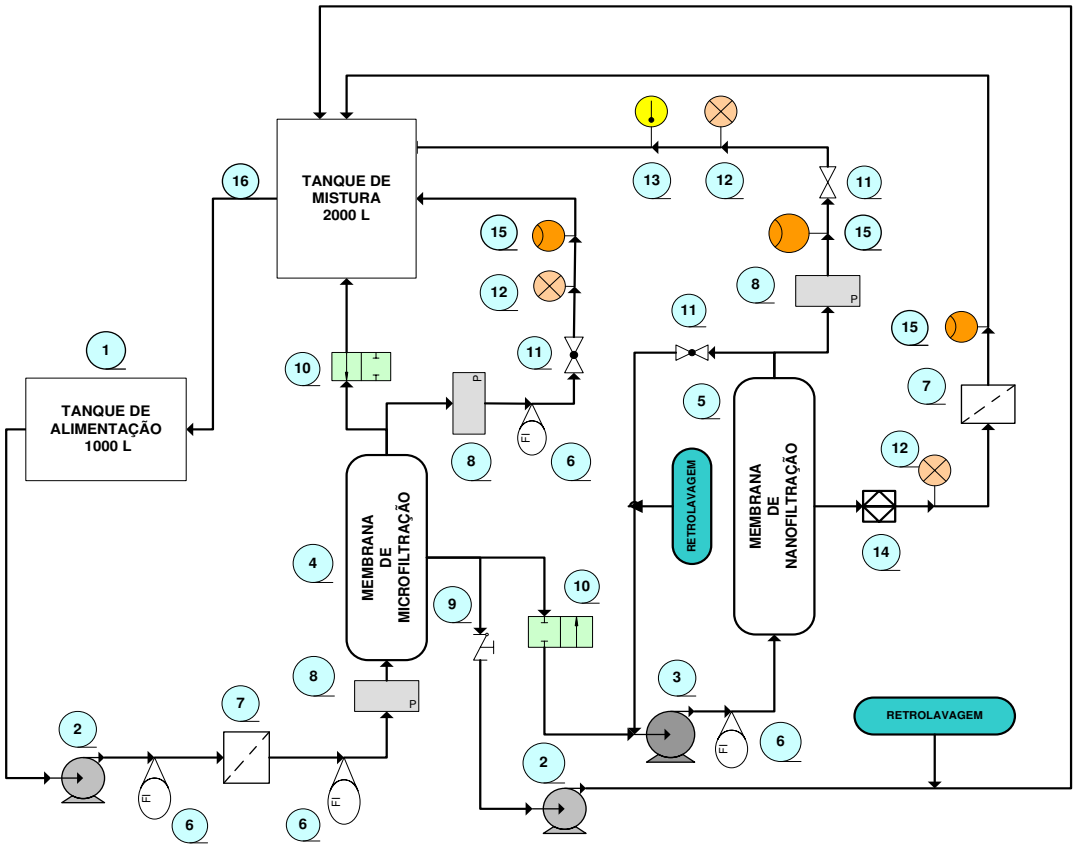
PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 °C	3050,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	4,9	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	15,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	92,5	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	102,0	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	656,3	500,0
Sódio (Na^{+}), mg/L	509,4	200,0
Potássio (K^{+}), mg/L	9,1	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,45	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	148,4	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	905,3	250,0
Nitrato ($N\text{-}NO_3^{-}$), mg/L	**0,0**	**10,0**
Nitrito ($N\text{-}NO_2^{-}$), mg/L	0,02	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	1,85	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	16,1	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,24	≤ 0
TDS(Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180ºC), mg/L	2261,0	1.000,0

3.2 SISTEMAS DE MEMBRANAS

O fluxograma do sistema de membrana microfiltração/nanofiltração (MF/NF) se encontra na Figura 15 mostrando todos os componentes do sistema, incluindo as válvulas solenoides e os instrumentos de controle de vazões e pressões analógicos e digitais que tem como objetivo de registrar os valores das variáveis de medidas.

3.2.1 Fluxograma do sistema MF/NF

Figura 15. Diagrama do processo de membranas.



Legenda: 1 – Tanque de alimentação; 2- Motor bomba de baixa pressão; 3 – Motor bomba multiestágios; 4 – Membrana de microfiltração; 5 – Membrana de nanofiltração; 6 – Manômetro analógico; 7 – Filtro de cartucho; 8 – Manômetro digital; 9 – Válvula de retenção; 10 – Válvula solenoide; 11 – Válvula de passagem; 12 – Rotâmetro analógico; 13 – Termômetro; 14 – Condutivimetro digital; 15 – Manômetro digital e 16 – Tanque de mistura.

3.2.2 Sistema de membranas MF/NF

A Figura 16 mostra o sistema de membranas microfiltração/nanofiltração (MF/NF) composto com instrumentos de medidas analógicos e digitais para fins de controle de operação, o qual foi projetado e montado no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES)/UFCG.

Figura 16. Sistema de microfiltração/nanofiltração.

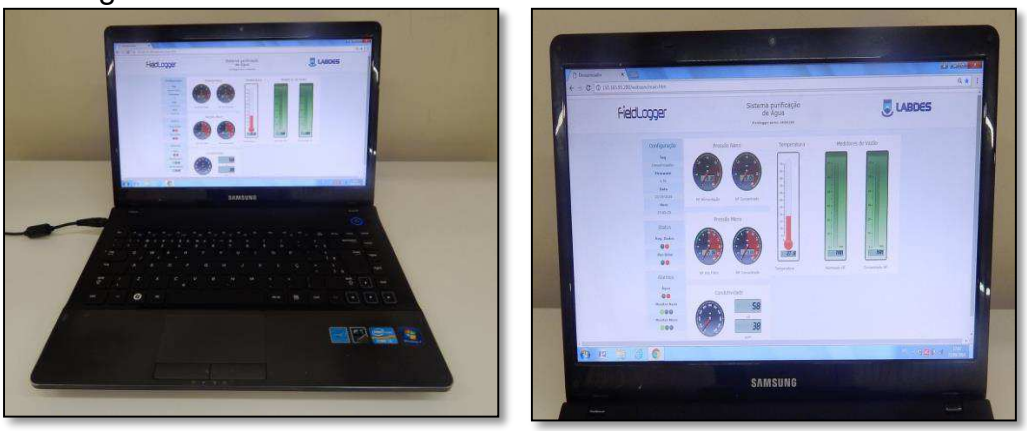
O sistema de MF/NF é composto dos seguintes componentes:

- Os instrumentos de medidas no sistema são os seguintes:
  - ✓ Um manômetro glicerinado (0 – 4) bar na entrada e outro na saída do filtro de polipropileno de 5µm;
  - ✓ Um manômetro glicerinado (0 – 4) bar na entrada e outro na saída da membrana de microfiltração;
  - ✓ Um manômetro glicerinado (0 – 20) bar na entrada e outro na saída da membrana de nanofiltração;
  - ✓ Um manômetro de linha digital (0 – 4) bar na entrada e outro na saída do filtro de polipropileno de 5µm;
  - ✓ Um manômetro de linha digital (0 – 4) bar na entrada e outro na saída da membrana de microfiltração;
  - ✓ Um manômetro de linha digital (0 – 20) bar na entrada e outro na saída da membrana de nanofiltração;
  - ✓ Um rotâmetro analógico (0 – 18) $L.min.^{-1}$ na saída da membrana de microfiltração;
  - ✓ Um rotâmetro de linha digital na saída da membrana de microfiltração;
  - ✓ Um rotâmetro analógico (0 – 7) $L.min.^{-1}$ na saída do concentrado e outro na saída do permeado da membrana de nanofiltração;
  - ✓ Um rotâmetro de linha digital na entrada e outro na saída da membrana de nanofiltração;
  - ✓ Condutívimetro de linha digital do permeado da membrana de nanofiltração;
  - ✓ Termômetro de linha digital do permeado da microfiltração.
- Motor bomba trifásico de baixa pressão modelo CAM-W4C da DANCOR com potência de 1/2CV, para alimentação do sistema;
- Motor bomba trifásico de baixa pressão modelo CAM-W4C da DANCOR com potência de 1/4 CV, para retro lavagem do sistema;

- Motor bomba trifásico multiestágios, de alta pressão modelo Booster da DANCOR com potência de 3/4 CV, para alimentação do elemento de nanofiltração;
- Sistema de pré-tratamento é composto por um filtro de polipropileno expandido (altura: 9.3/4", diâmetro: 2,5") com taxa de filtração de 5µm e, um filtro do tipo carvão ativado (altura: 9.3/4", diâmetro: 2,5") o laudo encontra-se no Anexo A;
- Membrana de microfiltração tipo fibras oca com dimensão de 6" de diâmetro e 14 m^2 de área, desenvolvida pela PAM (diâmetro externo: 0,95 mm e tamanho do poro: 0,40 µm) e, uma membrana de nanofiltração modelo NF90 4040 da *Dow Chemical Company Filmtec*, com área de 7,6 m^2 (Rejeição de sais: 97%).
- Sistema de monitoramento via telemetria

✓ O sistema de monitoramento via telemetria é realizado, através dos instrumentos de medidas digitais, mencionados acima, acoplados na unidade de MF/NF que oferecem condições de armazenar e apresentar os valores "on line" das variáveis de medidas durante a operação via telemetria. A Figura 17 mostra a tela de um computador apresentando o monitoramento do sistema MF/NF via telemetria.

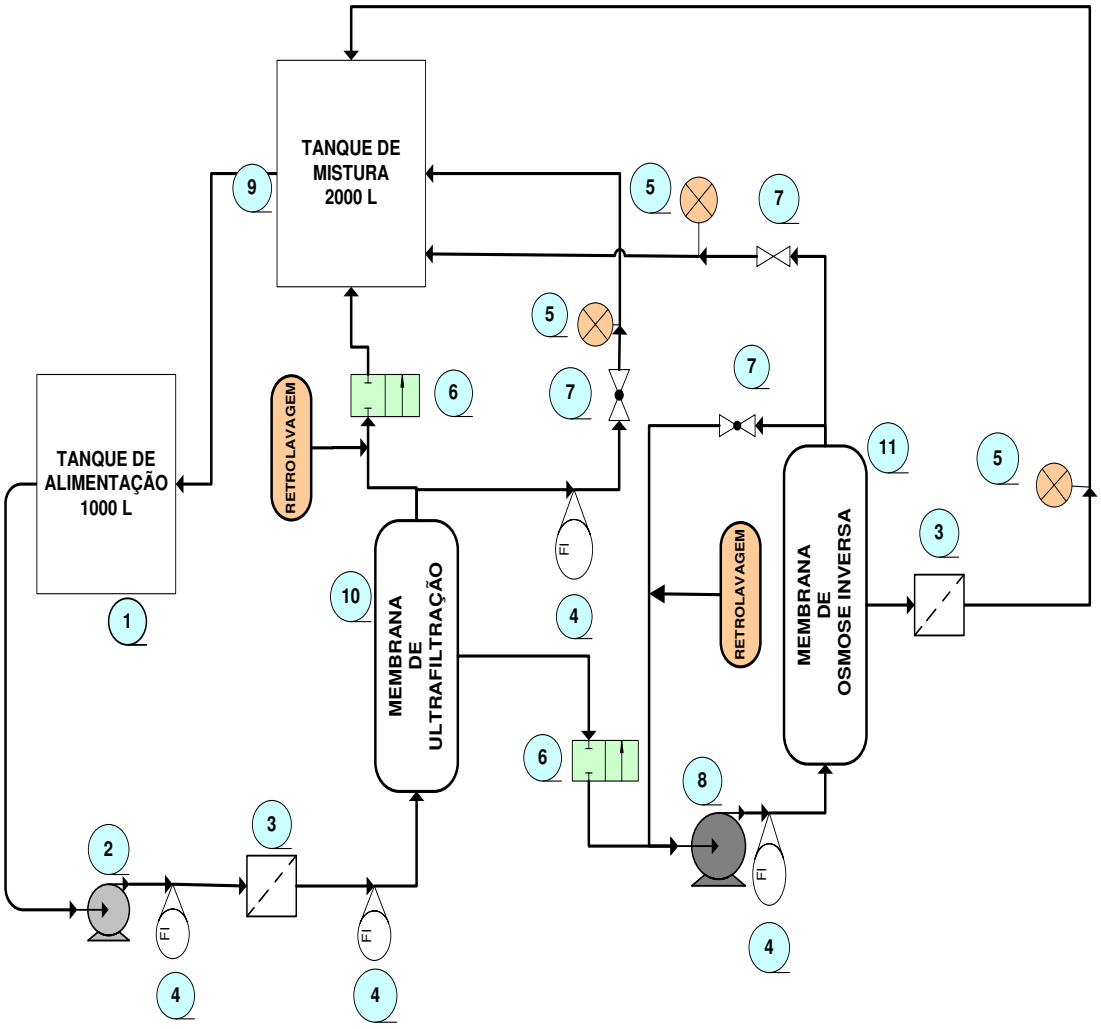
Figura 17. Monitoramento via telemetria do sistema de MF/NF



3.2.3 Fluxograma do sistema UF/OI

A Figura 18 mostra o fluxograma do sistema membranas ultrafiltração/osmose inversa (UF/OI) apresentando a distribuição das membranas de ultrafiltração e de osmose inversa com seus respectivos componentes de controle e tanques, incluindo o tanque de mistura das correntes de concentrado e permeado, conforme apresentado no Item 3.4.

Figura 18. Diagrama do processo de membranas.



Legenda: 1 – Tanque de alimentação; 2- Motor bomba de baixa pressão; 3 – Filtros de cartuchos; 4 – Manômetros analógicos; 5 – Rotâmetros; 6 – Válvula solenoide; 7 – Válvulas de passagens e 8 – Motor bomba de multiestágios; 9 – Tanque de mistura; 10 – Membrana de ultrafiltração e 11 – Membrana de osmose inversa.

3.2.4 Sistema de membranas: (UF/OI)

A Figura 19 mostra o sistema de membranas ultrafiltração/osmose inversa (UF/OI), o qual também foi construído no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES)/UFCG.

Figura 19**.** Sistema de ultrafiltração/osmose inversa vistas: a - vista frontal e b - vista de costa. (Fonte: LABDES)

O sistema UF/OI é composto dos seguintes componentes:

- Os instrumentos de medidas no sistema são os seguintes:
  - ✓ Um manômetro glicerinado (0 – 4) bar na entrada e outro na saída do filtro de polipropileno de 5µm;
  - ✓ Um manômetro glicerinado (0 – 4) bar na entrada e outro na saída da membrana de ultrafiltração;
  - ✓ Um manômetro glicerinado (0 – 20) bar na entrada e outro na saída da membrana de osmose inversa;
  - ✓ Um rotâmetro analógico (0 – 35) $L.min.^{-1}$ na saída da membrana de microfiltração;
  - ✓ Um rotâmetro analógico (0 – 35) $L.min.^{-1}$ na saída do concentrado da membrana de nanofiltração;
  - ✓ Um rotâmetro analógico (0 – 7) $L.min.^{-1}$ na saída do permeado da membrana de nanofiltração.
- Motor bomba trifásico de baixa pressão modelo CAM-W4C da DANCOR com potência de 1/2CV, para alimentação do sistema;
- Motor bomba trifásico de baixa pressão modelo CAM-W4C da DANCOR com potência de 1/4 CV, para retro lavagem do sistema;
- Motor bomba trifásico multiestágios, de alta pressão modelo Booster da DANCOR com potência de 3/4 CV, para alimentação do elemento de nanofiltração;
- Sistema de pré-tratamento é composto por um filtro de polipropileno expandido (altura: 9.3/4", diâmetro: 2,5") com taxa de filtração de 5µm e, um filtro do tipo carvão ativado (altura: 9.3/4", diâmetro: 2,5");
- Membrana de microfiltração tipo fibras oca com dimensão de 6” de diâmetro e 14 m^2 de área, desenvolvida pela PAM (diâmetro externo: 0,95 mm e tamanho do poro: 0,40 µm) e, uma membrana de nanofiltração modelo NF90 4040 da *Dow Chemical Company Filmtec*, com área de 7,6 m^2 (Rejeição de sais: 97%) encontra-se o laúdo no Anexo B.

3.3 TANQUE DE ALIMENTAÇÃO

A Figura 20 mostra o tanque de alimentação do sistema de membrana de capacidade volumétrica de 1.000 L, o qual é composto com uma tampa e duas válvulas de controle uma para alimentar o motor bomba a outra para receber a mistura da solução, oriunda do tanque de mistura.

Figura 20. Tanque de alimentação do sistemas de membranas.

3.4 TANQUE DE MISTURA

Para o processo de mistura foi construído um sistema de mistura composto de um tanque de fibra vidro com capacidade de 2000 L contendo um tubo interno com vários segmentos de tubos para efeito de mistura dos meios aquosos, conforme estudado por Silva. S.K, (2008). Na Figura 21 e 22 mostram as vistas externa e interna do tanque de mistura. A parte externa é composta com as válvulas de controle do tanque de mistura, e a vista do interior mostra o encontro das correntes, do concentrado e do permeado quando os sistemas de membrana se encontram em operação.

Figura 21. Tanque de mistura

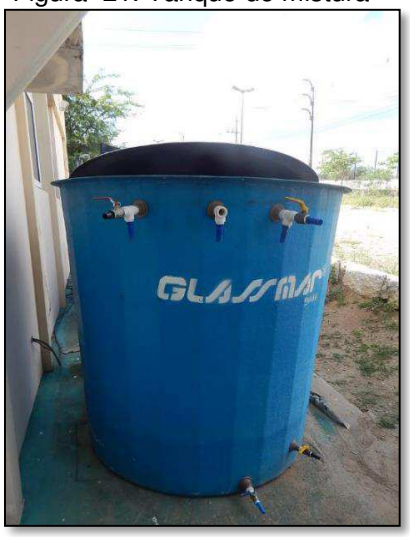


Figura 22. Vista interna do tanque

3.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

No presente trabalho foram realizados dois planejamentos experimentais nos dois sistemas (MF/NF e UF/OI) assim como segue:

- ✓ *One-way* : com um fator com três repetições fazendo um total de 15 experimentos;
- ✓ Planejamento Composto Central (PCC): com dois fatores, três pontos centrais e quatro pontos axiais fazendo um total de 11 experimentos.

3.5.1 Solução de nitrato

O tipo de planejamento adotado para este tipo de água foi o PCC. Utilizou-se um *software* MINITAB® Versão 17.0, visando obter as matrizes a serem utilizadas para o sistema com dois fatores: a concentração de $N\text{-}NO_3^-$ e a pressão de operação de cada sistema de membranas com seus respectivos níveis, baixo (-) e alto (+), de acordo com as Tabelas 8 e 9 respectivamente.

Tabela 8. Dados obtidos das varáveis independentes no planejamento composto central para o sistema MF/NF.

VARIÁVEL	AXIAL (-α)	NÍVEL (-1)	P.CENTRAL (0)	NÍVEL (+1)	AXIAL (+α)
$N\text{-}NO_3^-$ ($mg.L^{-1}$)	0,667	4	12	20	23,3
P (bar)	1,5	2	3,2	4,35	4,84

Tabela 9. Dados obtidos das variáveis independentes no planejamento composto central para o sistema UF/OI.

VARIÁVEL	AXIAL (-α)	NÍVEL (-1)	P.CENTRAL (0)	NÍVEL (+1)	AXIAL (+α)
$N\text{-}NO_3^-$ ($mg.L^{-1}$)	0,667	4	12	20	23,3
P (bar)	3,24	5	9,25	13,5	15,3

3.5.2 Águas: Doce e de abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato

O tipo de planejamento para estes tipos de águas foi *One-way*, conforme mencionado acima. Para esse caso foi considerado o parâmetro concentração em $N\text{-}NO_3^-$ como uma variável constante, variando a pressão de operação para cada sistema de membranas conforme mostram as Tabelas 10 e 11 respectivamente.

Tabela 10. Planejamento experimental do tipo One-Way para o sistema MF/NF.

VARIÁVEL	VALORES DAS VARIÁVEIS				
$N\text{-}NO_3^-$ ($mg.L^{-1}$)	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
P (bar)	1,5	2	3,2	4,35	4,84

Tabela 11. Planejamento experimental do tipo One-Way para o sistema UF/OI.

VARIÁVEL	VALORES DAS VARIÁVEIS				
$N\text{-}NO_3^-$ ($mg.L^{-1}$)	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
P (bar)	3,24	5	9,25	13,5	15,3

3.7 EXPERIMENTOS COM SOLUÇÃO DE NITRATO

Conforme definido água enriquecida com nitrato no item 3.1.1 foram realizados os 11 experimentos para todos os sistemas de membranas (MF/NF e UF/OI), obedecendo ao tratamento PCC para as seguintes concentrações de $N\text{-}NO_3^-$: 0,67 $mg.L^{-1}$, 4,0 $mg.L^{-1}$, 12,0 $mg.L^{-1}$, 20,0 $mg.L^{-1}$ e 23,5 $mg.L^{-1}$. Os experimentos foram realizados para as seguintes pressões de operação, conforme mostra as Tabelas 12 e13 abaixo.

Tabela 12. Arranjos das duas variáveis de independentes utilizada no processo de redução do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas micro/nanofiltração.

EXPERIMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	PRESSÃO (bar)
1	4,00	2,00
2	20,00	2,00
3	4,00	4,35
4	20,0	4,35
5	0,67	3,20
6	23,30	3,20
7	12,00	1,51
8	12,00	4,84
9	12,00	3,20
10	12,00	3,20
11	12,00	3,20

Legenda: $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação do sistema de MF/NF.

Tabela 13. Arranjos das duas variáveis de independentes utilizada no processo de redução do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas ultra/osmose inversa.

EXPERIMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	PRESSÃO (bar)
1	4,00	5,00
2	20,00	5,00
3	4,00	13,50
4	20,0	13,50
5	0,67	9,25
6	23,30	9,25
7	12,00	3,24
8	12,00	15,26
9	12,00	9,25
10	12,00	9,25
11	12,00	9,25

Legenda: $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação do sistema de UF/OI.

3.7 ÁGUAS: DOCE E DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO

De acordo com as definições dos itens 3.1.2 e 3.1.3, foram realizados 15 experimentos para cada sistemas de membranas (MF/NF e UF/OI), obedecendo os tratamento *One-way* com a seguinte concentração constante de $N\text{-}NO_3^-$: 20,8 $mg.L^{-1}$. Os experimentos foram realizados para as seguintes pressões de operação, conforme mostra as Tabelas 14 e 15 abaixo.

Tabela 14. Arranjos das duas variáveis de independentes utilizada no processo de redução do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas MF/NF.

EXPERIMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	PRESSÃO (bar)
1	20,8	1,51
2	20,8	1,51
3	20,8	1,51
4	20,8	2,00
5	20,8	2,00
6	20,8	2,00
7	20,8	3,20
8	20,8	3,20
9	20,8	3,20
10	20,8	4,35
11	20,8	4,35
12	20,8	4,35
13	20,8	4,84
14	20,8	4,84
15	20,8	4,84

Legenda: $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação do sistema de MF/NF.

Tabela 15. Arranjos das duas variáveis de independentes utilizada no processo de redução do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas UF/OI.

EXPERIMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	PRESSÃO (bar)
1	**20,8**	**3,24**
2	**20,8**	**3,24**
3	**20,8**	**3,24**
4	**20,8**	**5,00**
5	**20,8**	**5,00**
6	**20,8**	**5,00**
7	**20,8**	**9,25**
8	**20,8**	**9,25**
9	**20,8**	**9,25**
10	**20,8**	**13,24**
11	**20,8**	**13,24**
12	**20,8**	**13,24**
13	**20,8**	**15,50**
14	**20,8**	**15,50**
15	**20,8**	**15,50**

Legenda: $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação do sistema de UF/OI.

3.8 ANÁLISES QUÍMICAS

Os procedimentos analíticos foram realizados no LABDES das amostras das águas de alimentação, dos permeados e concentrados dos dois sistemas estudados, foram feitas em triplicatas. A metodologia empregada para a adição de $NaNO_3$ nas águas que se fez necessário se encontra no Apêndice H. Os métodos de análise de todos os parâmetros físico-químicos obedeceram aos métodos descritos nas normas do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2010).

3.9 PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^- NAS ÁGUAS ESTUDADAS

Para o uso dos dois sistemas de membranas estudados a metodologia da preparação dos meios aquosos foram semelhantes, em termos de adição de nitrato de sódio na solução de nitrato, superficiais e subterrâneas assim como segue:

(a) Para solução de nitrato, tomou-se a quantidade de nitrato de sódio, estudada, conforme descrito no Item 3.8 para se obter as devidas concentrações de N-NO_3^-, de acordo com o planejamento experimental. Para esse caso foram realizados 11 experimentos em cada sistema de membrana;

(b) Para água doce; poço tubular Felipe Camarão situado na Capital do Rio Grande do Norte, apresentou com uma concentração de 20,8 mg.L^{-1} de N-NO_3^-, a qual foi tomada para 15 experimentos em cada sistema de membranas;

(c) Para águas; superficial (açude Epitácio Pessoa) e do poço (Uruçu de São João do Carirí- PB), que também foram enriquecidas com nitrato de sódio, conforme o planejamento experimental, foram realizados 15 experimentos para água do açude e 5 experimentos para água do poço em cada sistema de membranas;

3.10 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS NOS SISTEMAS DE MEMBRANAS

De acordo com a disposição dos componentes mostrados nos fluxogramas dos sistemas MF/NF e UF/OI das Figuras 13 e 16, os procedimentos experimentais para ambos os sistemas ocorreram de forma semelhantes, assim como segue:

1. A água de alimentação do sistema foi armazenada no tanque de alimentação de 1.000 L e mantida coberta para evitar quaisquer tipos de contaminação, sob uma circulação contínua com ajuda de um motor bomba de 1/4CV até sua composição, em termos de condutividade elétrica, pH e concentração de $N\text{-}NO_3^-$ se apresentar de acordo com os valores predeterminados pelo procedimento experimental para cada experimento específico.
2. Durante o ajuste das variáveis de medidas do sistema permitiu-se que a água de alimentação circulasse por alguns segundos, nos elementos de membranas com a válvula do concentrado aberta, fazendo assim expulsar o volume de elemento de água remanescente no interior das membranas e mantendo assim o meio homogeneizado com a água de alimentação;
3. Os valores das pressões de operação foram controlados através da válvula de controle da corrente do concentrado no sistema de membrana. Seus valores foram ajustados em função do planejamento experimental para cada caso estudado;
4. Em função do ajuste das pressões de operação pode-se observar os valores obtidos para as vazões do permeado e concentrado, os quais foram monitorados, automaticamente, somente para o sistema de membrana de MF/NF, através do sistema de telemetria;
5. A partir dessa etapa pode-se monitorar, para cada corrente do sistema de membrana, através dos instrumentos de medidas os seguintes parâmetros: temperatura, pH e condutividade elétrica, os quais foram lidos para cada 10 minutos de experimentos ao longo de 120 minutos. Essas variáveis de medidas foram obtidas com auxílio de instrumentos de medidas previamente aferidos no LABDES;
6. Durante o período de cada experimento as correntes do: concentrado e permeado dos elementos de membranas foram bombeados para tanque de mistura, conforme descrito no Item 17. Após o efeito de mistura no tanque de mistura, a água é bombeada para o tanque de alimentação, a qual retorna para alimentação do sistema de membranas.
7. As coletas de amostras de águas (alimentação, permeado e concentrado de cada elemento de membrana) se deram no início e no

final de cada experimento para fins de análises físico-químicas, conforme mostra o fluxograma do processo de membranas na Figura 12;

8. No final de cada experimento os sistemas de membranas foram lavados com água dessalinizada e descartada, visando higienização e deixar o sistema pronto para o próximo experimento sob as mesmas condições iniciais.
9. Considerando que os sistemas de membranas podem baixar suas produtividades, periodicamente ao longo de cada três meses, foram realizadas limpezas químicas, conforme mostra a metodologia no Anexo C.

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA (ANOVA) E MODELAGEM

a) Análise estatística

Para verificar a validação do modelo, checar as respostas e verificar se existem efeitos significativos entre as respostas médias dos tratamentos, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA).

A Tabela 16 apresenta a saída do software MINITAB® a versão 17.0 para ANOVA (Análise de Variância).

Tabela 16. Análise de variância a ANOVA.

Fonte de Variação	G.l	Soma Quadrática	Quadrado Médio	Valor $p^{1\,e\,2}$
Regressão (Linear/quadrático/interação)	p-1	SQreg	SQreg/p-1	-
Resíduo	n-m	SQr	SQr/n-m	
Falta de Ajuste	m-p	SQfaj	SQfaj/m-p	-
Erro Puro	n-m	SQep	SQep/n-m	
Total	n-1	SQt	SQt/n-1	
R^2	R^2_{max}	R		

Legenda: n: Número (n) de experimentos; p: n. de coeficientes; m: n. de experimentos distintos g.l : Graus de Liberdade; SQ : Soma Quadrática Valor p^1: Significativamente diferente ($p \leq 0,05$); ^{2}Não significativo ($p > 0,05$); n: Número de observação; R^2: Coeficiente de determinação; R^2_{max}: Porcentagem máxima da variável explicável; R: Coeficiente de Correlação entre as variáveis. Fonte: MONTGOMERY e RUNGER, (2003).

A regressão testa se os termos do modelo têm algum efeito na resposta, testa o linear, o quadrático e a interação. Os termos quadráticos foram usados para avaliar se existe ou não curvatura (quadrática) na superfície de resposta.

Se houver curvatura significa que a resposta não segue um plano, e sim uma curva. Já o erro (residual) mede quanto da variação da resposta não é explicado pelo modelo. Essa variação não explicada é subdividida em duas partes: ***lack-of-fit*** (É a variação devido à inadequação do modelo) e puro erro.

Coeficiente de Determinação (R^2)

O coeficiente de determinação é calculado usando a Equação 3.0. Ela representa a variação explicável pelo modelo, ou seja, quanto o modelo explica a variação dos dados (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

$$R_{Sq} = R^2 = \frac{\text{SQ reg}}{\text{SQtotal}} \quad (3.0)$$

Em que:

- SQ_{reg}:Soma de quadrado da regressão;
- SQ_{total}: Somatório de todos os valores observados ao quadrado menos a correção.

Coeficiente de correlação entre as variáveis (R)

O coeficiente de correlação (R) é calculado usando a equação $R=\sqrt{R^2}$ que representa a correlação entre as variáveis. O valor de R varia entre –1 e 1. O valor –1 indica uma correlação linear negativa e o valor 1 indica uma correlação linear positiva. É um número usado para classificar a correlação da seguinte forma:

- ✓ R: 1 à Correlação Perfeita;
- ✓ R: 0,75 à Forte Correlação;
- ✓ R: 0,5 e < 0,75 à Média Correlação;
- ✓ R< 0,5 à Fraca Correlação;
- ✓ R: 0 à Inexistente Correlação.

Porcentagem máxima de variação explicável

A porcentagem máxima de variação explicável é calculada usando a Equação 3.1 Ela representa o máximo de variação que o modelo explica. Este valor deve ser comparado com o valor explicado pelo modelo (R^2).

$$R^2_{\max} = \frac{SQ_{reg} - SQ_{erro\,puro}}{SQ_{total}}.100 \quad (3.1)$$

Em que:

- $SQ_{erropuro}$: Diferença entre a soma do quadrado total menos a soma de quadrado do tratamento.

b) Modelo: Planejamento e análise de experimentos: Um fator (One-Way) e Planejamento composto central (PCC)

- **Planejamento One-Way**

Quando a resposta foi modelada por uma função linear das variáveis independentes, a função de aproximação foi de 1ª ordem (Equação 3.2):

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.2)$$

- **Planejamento composto central**

O delineamento central composto utilizado nesse trabalho compreende o planejamento estatístico fatorial 2^2, ponto central e o delineamento em estrela. Logo, foram executadas três repetições do ponto central para dar a estimativa do erro experimental. Os 11 pontos experimentais (Tratamentos) foram delineados para permitir a avaliação do modelo. O modelo determinado foi testado para falta de ajuste fazendo avaliação do *p-valor a*través da Análise de Variância (ANOVA). Quando está próximo da região de ótimo, um modelo que incorpora o efeito de curvatura é indicado. Para o planejamento composto central o modelo que pode ser adotado é o apresentado na Equação 3.3. O modelo de 2ª ordem é dado por:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j>i}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.3)$$

Em que:

- ✓ y : Variável resposta;
- ✓ ß0 : Média geral modelo;
- ✓ ßi : Coeficiente do modelo;
- ✓ β_{ii} : representa o efeito quadrático;
- ✓ ε: Erro experimental.

A Equação 3.3 é chamada de modelo de superfície de resposta segunda ordem.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O referente Capítulo são apresentados os resultados obtidos com os sistemas de membranas, microfiltração/nanofiltração (MF/NF) e ultrafiltração/osmose inversa (UF/OI) para averiguar a redução da concentração de nitrato nos seguintes meios: solução de nitrato, água subterrânea e superficial.

As discussões foram divididas em duas etapas:

- A primeira etapa contem os resultados referentes à simulação do processo, de remoção do nitrato no meio aquoso, com membranas, fazendo uso do *software* ROSA@ da Filmtec em que os resultados foram usados no *software* MINITAB® na versão 17.0 para fins de análise estatística (ANOVA).
- A segunda etapa se refere às análises dos dados obtidos experimentalmente, a partir dos sistemas MF/NF e UF/OI e seus resultados também foram aplicados no *software* MINITAB® na versão 17.0 para fins de análise estatística (ANOVA) visando comparar os resultados obtidos com os da primeira etapa e os monitoramentos das variáveis de controle estão nos Apêndice D e E, respectivamente.

No Apêndice C se acham alguns resultados obtidos a partir da simulação com o *software Reverse Osmose System Analyses (ROSA) versão 7.2*. de acordo com o planejamento experimental do presente trabalho.

4.1. SOLUÇÃO DE NITRATO

A importância da preparação da solução de nitrato a partir de água dessalinização foi bastante significativa por dois motivos: (1) em termos dos níveis de concentração de sais dissolvidos se encontrarem dentro dos padrões de águas potáveis para o consumo humano e (2) facilitando o uso do *software* de processo com membrana (ROSA), em apresentar os principais parâmetros físico químicos necessários em uma das etapas do processo de simulação.

Os sistemas MF/NF e UF/OI foram estudados a partir de suas simulações em função das concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ na solução de nitrato, enquanto os resultados desta etapa foram obtidos em comparados com os experimentais obtidos para os dois sistemas de membranas.

4.1.1 Processo de simulação do sistema de MF/NF para as soluções de nitrato

A Tabela 17 apresenta os dados obtidos do processo da simulação para as concentrações dos permeados, $[N\text{-}NO_3^-]_P$, a partir da concentração da alimentação $[N\text{-}NO_3^-]_A$, do planejamento experimental.

Tabela 17. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema MF/NF.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	4,00	2,00	2,68	33,00
T_2	20,00	2,00	12,46	37,70
T_3	4,00	4,35	1,58	60,50
T_4	20,00	4,35	7,47	62,65
T_5	0,68	3,20	0,36	47,06
T_6	23,31	3,20	10,51	54,91
T_7	12,00	1,51	9,27	22,75
T_8	12,00	4,84	4,26	64,50
T_9	12,00	3,20	5,48	54,33
T_{10}	12,00	3,20	5,48	54,33
T_{11}	12,00	3,20	5,48	54,33

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Observou-se que a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ para os tratamentos T2 e T6, ficou-se acima do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$) para os casos de concentração a partir de 20,0 $mg.L^{-1}$ e 23,31 $mg.L^{-1}$. Esses casos estão relacionados com estes valores de pressão de operação para ambos os casos, fato não observado para o T4 para a mesma concentração de 20,0 $mg.L^{-1}$ na pressão de operação de 4,35 bar. A taxa de rejeição do $N\text{-}NO_3^-$ também aumentou em função da pressão de operação.

Para determinar um modelo matemático que dê condições de mostrar a concentração de $N\text{-}NO_3^-$ na corrente do permeado em função da pressão de operação, os dados da Tabela 17 foram usados no *software* MINITAB® na versão 17.0, conforme indicado na Tabela 18.

Tabela 18. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo experimental para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
β_0 (média)	4,9870	959,65	0,000	Sig.
β_1 $[N\text{-}NO_3^-]_A$	0,7979	1609,49	0,000	Sig.
β_2 (P)	3,0930	309,82	0,000	Sig.
β_1 $[N\text{-}NO_3^-]_A^2$	0,0006	0,12	0,744	N-Sig.
β_1 $(P)^2$	0,4625	31,75	0,002	Sig.
β_1 $[N\text{-}NO_3^-]_A(P)$	0,1036	54,21	0,001	Sig.

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os dados apresentados na Tabela 18 mostram que houve efeito significativo a nível de 5,0% de probabilidade para a redução do $N\text{-}NO_3^-$ ou seja, com base no modelo gerado, o que nos permite afirmar, em relação aos resultados, que há 95,0% de confiança para a variável resposta.

Observa-se que dos seis coeficientes do modelo proposto apenas cinco apresentam valor de $\mathbf{F_{Cal}}$ maior do que o valor de $\mathbf{F_{Tab}}$, entretanto, o coeficiente β_1 **(N-NO3⁻)²** apresenta valor de $\mathbf{F_{Cal} = 0,12}$ menor que $\mathbf{F_{Tab}(1/5) = 6,61}$, sinalisando que não tem efeito significativo, isto é, apenas cinco coeficientes apresenta a influência na resposta.

O modelo que descreve adequadamente os dados está representado pela Equação 4.0, em que dos coeficientes do modelo para redução do $N\text{-}NO_3^-$ cinco são significativos a nível de 5,0% de probabilidade.

$$\mathbf{[N\text{-}NO_3^-]_P = 4,987 + 0,7979[N\text{-}NO_3^-]_A - 3,095P + 0,4625P^2 - 0,103[N\text{-}NO_3^-]_AP} \quad \mathbf{(4.0)}$$

A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010) estabeleceram um modelo matemático de regressão quadrática obtido a partir da rejeição do nitrato em referencia à rejeição do íon bicarbonato em soluções de nitrato, observando o modelo obtido (Equação 4.0); através desta simulação encontrou-se o mesmo tipo de regressão quadrática, que se diferencia do modelo de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010) em termos de parâmetros, mostrando a relação entre a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ com a pressão de operação do sistema MF/NF.

A Tabela 19 foi apresenta à ANOVA para as respostas dos ensaios variando à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 19. Dados da análise de variância (ANOVA) em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no processo de simulação do sistema MF/NF.

Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Model	5	140,610	28,122	401,93	0,000
Linear	2	134,288	67,144	959,65	0,000
$[N\text{-}NO_3^-]_A$	1	112,611	112,611	1609,49	0,000
P	1	21,677	21,677	309,82	0,000
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ²	1	0,307	0,008	0,12	0,744
P(bar) ²	1	2,222	2,222	31,75	0,002
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ P	1	3,793	3,793	54,21	0,001
Resíduo	5	0,350	0,070		
Falta de Ajuste	3	0,350	0,117		
Puro Erro	2	0,000	0,000		
Total	10	140,960			
R^2 = 99,58 %	**R^2_{MAX} = 99,75%**	**R = 0,998**			

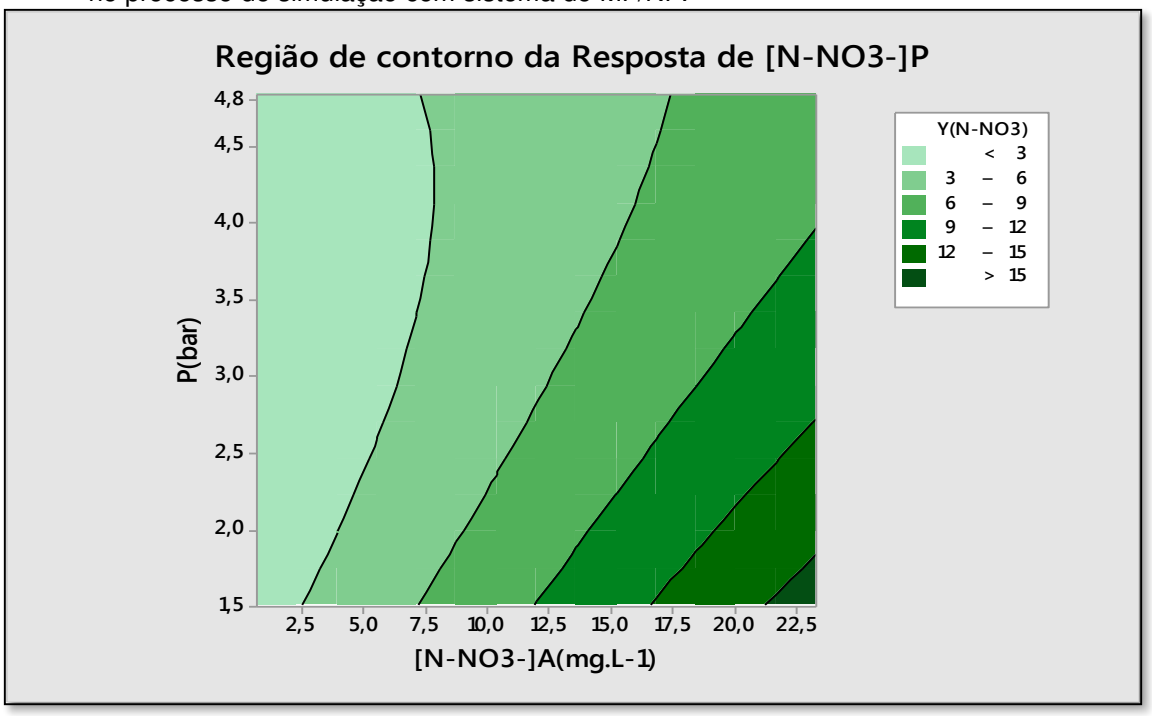
LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato na alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Observou-se na, Tabela 19, que o ajuste do modelo foi expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), significando dizer que 99,58% dos dados são explicados no modelo.

Verifica-se que o percentual máximo explicável (R^2max) foi de 99,75%, ou seja, os dados obtidos no processo de simulação se ajustam ao modelo obtido para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ pela membrana de nanofiltração em seu permeado.

Determinou-se neste resultado, com base, o gráfico de contorno (Figura 23) o qual é representado pelo modelo matemático para se obter uma visualização melhor da relação, à resposta e os níveis dos fatores estudados.

Figura 23. Região de contorno em relação a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado no processo de simulação com sistema de MF/NF.



Constata-se, na Figura 23, que as regiões mais escuras indicam que a qualidade do permeado em relação à concentração do $N\text{-}NO_3^-$ estar acima dos 10,0 $mg.L^{-1}$ que é o valor máximo permitido. Neste sentido as regiões de verde claro mostram onde se obtém os melhores resultados em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ mostrando que as maiores pressões de operação influenciam a variável resposta na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, no permeado do sistema MF/NF.

4.1.2 Processo experimental do sistema de MF/NF com água solução de nitrato

Os dados experimentais obtidos com o sistema MF/NF para as soluções de nitrato, segundo o planejamento experimental, gerando 11 experimentos, conforme a Tabela 20.

No Apêndice B se encontram os dados dos experimentos em função das concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ na solução de nitrato.

Tabela 20. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema MF/NF.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	4,00	2,00	2,79	30,25
T_2	20,00	2,00	9,21	53,95
T_3	4,00	4,35	2,13	46,75
T_4	20,00	4,35	9,26	53,37
T_5	0,68	3,20	0,399	41,32
T_6	23,31	3,20	7,97	65,81
T_7	12,00	1,51	8,72	27,33
T_8	12,00	4,84	6,84	43,00
T_9	12,00	3,20	5,54	53,83
T_{10}	12,00	3,20	6,07	49,42
T_{11}	12,00	3,20	6,11	49,08

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

A Tabela 20 se refere ao comportamento dos dados experimentais similares aos dados obtidos com os simulados para as soluções de nitrato. Observou-se que taxa de rejeição do $N\text{-}NO_3^-$ para os casos estudados estão diretamente relacionados com a pressão de operação e concentração de $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema, ou seja, a uma tendência da passagem de nitrato diminuir com o aumento de sua concentração na corrente de alimentação do sistema. Esses resultados foram fontes para estudar o modelo matemático, fazendo uso do mesmo software, conforme mencionado acima.

Na Tabela 21 se observam os coeficientes do modelo obtido para redução do $N\text{-}NO_3^-$ em solução de nitrato no processo experimental.

Tabela 21. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo experimental para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	5,120	118,25	0,000	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A}$	0,710	232,29	0,000	Sig.
$\beta_{2\ (P)}$	3,800	14,22	0,010	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A^2}$	0,014	14,28	0,016	Sig.
$\beta_{1\ (P)^2}$	0,627	14,54	0,015	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3]_A(P)}$	0,019	0,36	0,577	N-Sig.

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Observa-se, na Tabela 21, que dentre os seis coeficientes do modelo proposto cinco apresentam valor de $\mathbf{F_{Cal}}$ maior do que o valor de $\mathbf{F_{Tab}}$ porém o coeficiente $\beta_{1\ (N\text{-}NO3^-]P)}$ apresenta valor de $\mathbf{F_{Cal} = 0,36}$ menor que $\mathbf{F_{Tab}(1/5) = 6,61}$ despontando que não tem efeito significativo, ou seja, apenas cinco coeficientes apresentam influência na resposta.

A Tabela 23 indica que houve efeito significativo entre os fatores da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, a pressão de operação do sistema MF/NF e a interação entre os fatores foram significativas a nível de 95,0%, ou seja, o valor de **p** foi menor que 0,05. Neste caso, os coeficientes que entram no modelo são: média geral do modelo $\beta_{0\ (média)}$, $\beta_{1\ (N\text{-}NO3^-)}$, $\beta_{2\ (P)}$, $\beta_{1\ (N\text{-}NO3^-)^2}$ e $\beta_{1\ (P)^2}$, os que foram significativos. Daí tem-se o modelo obtido neste processo experimental.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 7,04 + 0,714[N\text{-}NO_3^-]_A - 4,5P - 0,014[N\text{-}NO_3^-]^2_A + 0,654P^2 \quad (4.1)$$

O modelo encontrado no processo experimental apresenta o mesmo tipo encontrado pela simulação em relação à solução de nitrato. Portanto, pode-se observar modelo estabelecido por A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010), os quais determinaram um modelo matemático de regressão quadrática obtido a partir

da rejeição do nitrato em relação à rejeição do íon bicarbonato em solução de nitrato, tendo em vista que o modelo da Equação 4.1 alcançado neste processo experimental, estabeleceu o mesmo tipo de regressão quadrática embora se diferenciou do modelo de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010) em termos de variáveis: concentração do $N\text{-}NO_3^-$ versus pressão de operação da membrana do sistema MF/NF.

Portanto se pode, na Tabela 22, apresentar a análise de variância (ANOVA) em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 22. Dados da análise de variância (ANOVA) da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no processo experimental no sistema MF/NF.

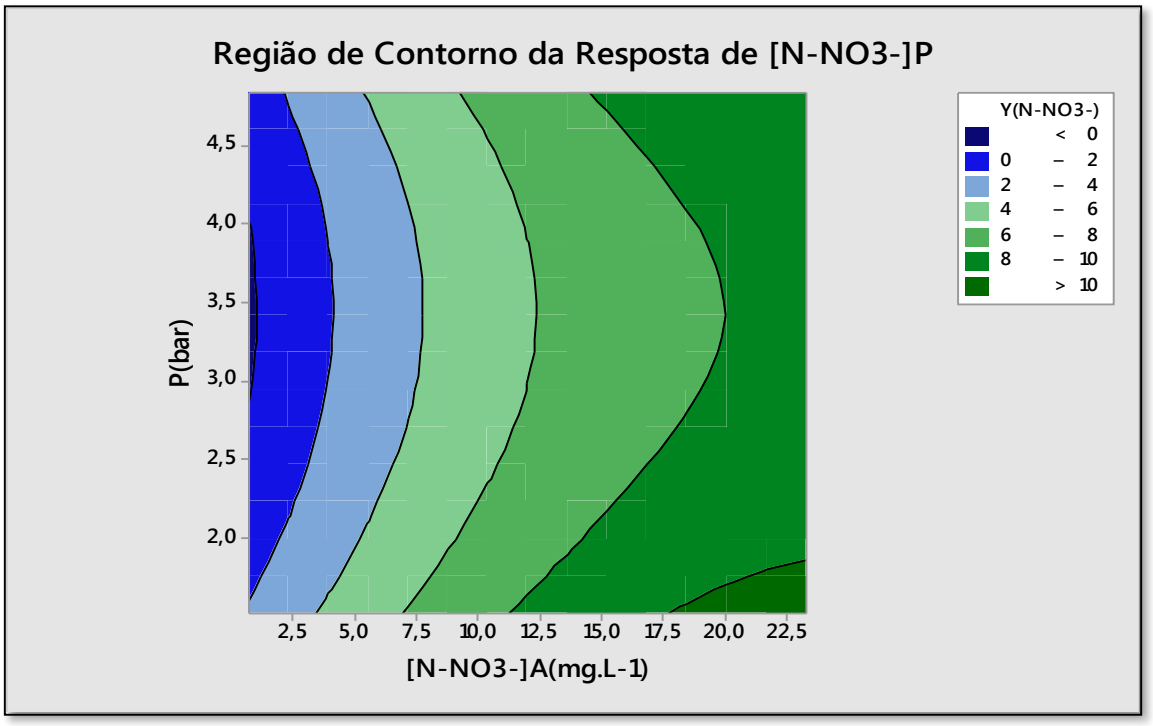
Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Model	5	87,9397	17,5879	49,58	0,000
Linear	2	74,8859	37,4429	105,55	0,000
$[N\text{-}NO_3^-]_A$	1	73,5503	73,5503	207,33	0,000
P	1	1,3356	1,3356	13,76	0,010
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ²	1	8,3233	4,5211	12,74	0,016
P(bar) ²	1	4,6045	4,6045	12,98	0,015
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ P	1	0,126	0,1260	0,36	0,577
Resíduo	5	1,7738	0,3548		
Falta de Ajuste	3	1,5713	0,5238	5,17	0,166
Puro Erro	2	0,2025	0,1012		
Total	10	88,7134			
R^2 = 96,05 %	**R^2_{MAX} = 98,02%**	**R = 0,99**			

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Na Tabela 22 os dados se ajustam ao modelo obtido indicando que houve curvatura (modelo quadratico), embora apresente um único valor **F_{Cal} = 0,36** menor do que o valor **F_{Tab} (1/5) = 6,61**, ou seja, o modelo que representa a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ obteve um comportamento explicável de 96,05% e o máximo explicável foi de 98,02% .

De acordo com os resultados obtidos foi possível determinar o gráfico de contorno observado na Figura 24, representado pelo modelo matemático obtendo melhor visualização entre a resposta e os níveis dos fatores estudados.

Figura 24. Região de contorno em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado no sistema de MF/NF.



Observa-se, na Figura 24, que a região verde escuro indica que a qualidade do permeado em relação à concentração do $N\text{-}NO_3^-$ está fora dos padrões de potabilidade, de 10,0 $mg.L^{-1}$, enquanto nas regiões em azul escuro e em verde claro, surgiram os melhores resultados em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, em que a variável resposta é influenciada pela pressão de operação da membrana de nanofiltração.

Neste processo de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema MF/NF, no processo de simulação como no processo experimental com a solução de nitrato, observou-se que apresentou o mesmo modelo matemático do tipo regressão quadrático; daí relacionou-se esses modelos com o modelo encontrado por A. SANTAFÉ-MOROS et al (2010) que estabeleceram o mesmo tipo de modelo.

O próximo passo será a avaliação do comportamento deste tipo de membrana polimérica em relação à redução do nitrato com os outros tipos de águas propostos neste trabalho.

4.1.3 Processo de simulação do sistema de UF/OI com solução de nitrato

Este processo de simulação do sistema UF/OI apresenta a mesma estrutura em relação à simulação realizada no sistema MF/NF diferenciando-se em termos da pressão de operação, para efeito de comparação entre esses dois sistemas de membranas.

Observando a Tabela 23 a qual apresenta os resultados dos tratamentos em relação à redução da concentração do nitrato na solução de nitrato proposto pelo planejamento experimental.

.

Tabela 23. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultdos das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema MF/NF.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	4,00	5,00	0,29	92,75
T_2	20,00	5,00	1,46	92,27
T_3	4,00	13,50	0,14	96,50
T_4	20,00	13,50	0,70	96,50
T_5	0,68	9,25	0,03	95,59
T_6	23,31	9,25	1,04	95,54
T_7	12,00	3,24	1,30	89,17
T_8	12,00	15,26	0,39	96,75
T_9	12,00	9,25	0,53	95,58
T_{10}	12,00	9,25	0,53	95,58
T_{11}	12,00	9,25	0,53	95,58

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Analisando a Tabela 23 supõe-se que os tratamentos T8 apresentou o melhor resultado em termos de taxa de rejeição, de 96,75%.

O sistema UF/OI com a solução de nitrato obteve boa eficiência em relação à redução da concentração de $N\text{-}NO_3^-$, e a variação da taxa de rejeição entre 92,27% a 96,75%.

Na mesma maneira usada no processo de simulação no sistema MF/NF, pode-se, nesta simulação e com o sistema UF/OI, determinar um modelo matemático usando o *software* (MINITAB® a versão 17.0); o modelo encontrado está relacionado à concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em referência à pressão de operação do sistema UF/OI apresentando o mesmo tipo de regressão quadrática encontrada na simulação do sistema MF/NF.

Na Tabela 24 pode-se observar os coeficientes do modelo, obtidos para redução do $N\text{-}NO_3^-$ na água sintética no processo de simulação.

Tabela 24. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo de simulação para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	0,7450	141,62	0,000	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A}$	0,0910	190,17	0,000	Sig.
$\beta_{2\ (P)}$	0,1650	93,07	0,000	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A{}^2}$	0,0001	0,02	0,890	N.Sig.
$\beta_{1\ (P)^2}$	0,0080	19,00	0,007	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A(P)}$	0,0040	14,06	0,013	Sig.

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato na alimentação; P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os valores dos coeficientes apresentados na Tabela 24 mostram um efeito significativo segundo o *software*, no nível de 5,0% de probabilidade para a redução do $N\text{-}NO_3^-$ com 95,0% de confiança de influência direta na variável resposta do sistema UF/OI, mas o coeficiente $\beta_{1\ (N\text{-}NO3^-)^2}$ apresenta o valor de $\mathbf{F_{Cal} = 0,02}$ menor do que o valor $\mathbf{F_{Tab}\ (1/5) = 6,61}$ mostrando que não há efeito significativo na resposta.

O modelo encontrado neste processo de simulação é representado pela Equação 4.2 em que dos coeficientes do modelo cinco são significativos apresentando o valor de $\mathbf{F_{Cal}}$ maior do que o valor de $\mathbf{F_{Tab}}$.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 0{,}731 + 0{,}0922[N\text{-}NO_3^-]_A - 0{,}163P + 0{,}0082P^2 - 0{,}00445[N\text{-}NO_3^-]_AP \quad (4.2)$$

Nesta simulação o modelo encontrado no sistema UF/OI foi a regressão quadrática, na qual foi encontrada o mesmo tipo de modelo do processo de simulação ocorrido no sistema MF/NF; daí, pode-se ressaltar que o trabalho de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010) estabeleceu um modelo matemático de regressão quadrática obtido a partir da taxa de rejeição do nitrato em relação ao íon bicarbonato em solução de nitrato, o modelo (Equação 4.2) se diferencia do modelo de A. SANTAFÉ-MOROS et al (2010) em termos de variáveis. O referido modelo é expresso em termos de parâmetros de concentração de $N\text{-}NO_3^-$ e pressão de operação do sistema UF/OI.

A Tabela 25 apresenta a ANOVA para as respostas do ensaio na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 25. Análise de variância (ANOVA) para análise dos dados do processo de simulação do sistema UF/OI.

Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Model	5	2,07498	0,415	63,71	0,000
Linear	2	1,84508	0,923	141,62	0,000
$[N\text{-}NO_3^-]_A$	1	1,23879	1,239	190,17	0,000
P	1	0,60629	0,607	93,07	0,000
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ²	1	0,01452	0,00014	0,02	0,890
P(bar) ²	1	0,12378	0,12378	19,00	0,007
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ P	1	0,09160	0,09160	14,06	0,013
Resíduo	5	0,03257	0,00651		
Falta de Ajuste	3	0,03257	0,01086	*	*
Puro Erro	2	0,00000	0,00000		
Total	10	2,10755			
R^2 = 96,91%	**R^2_{MAX} = 98,45%**	**R = 0,992**			

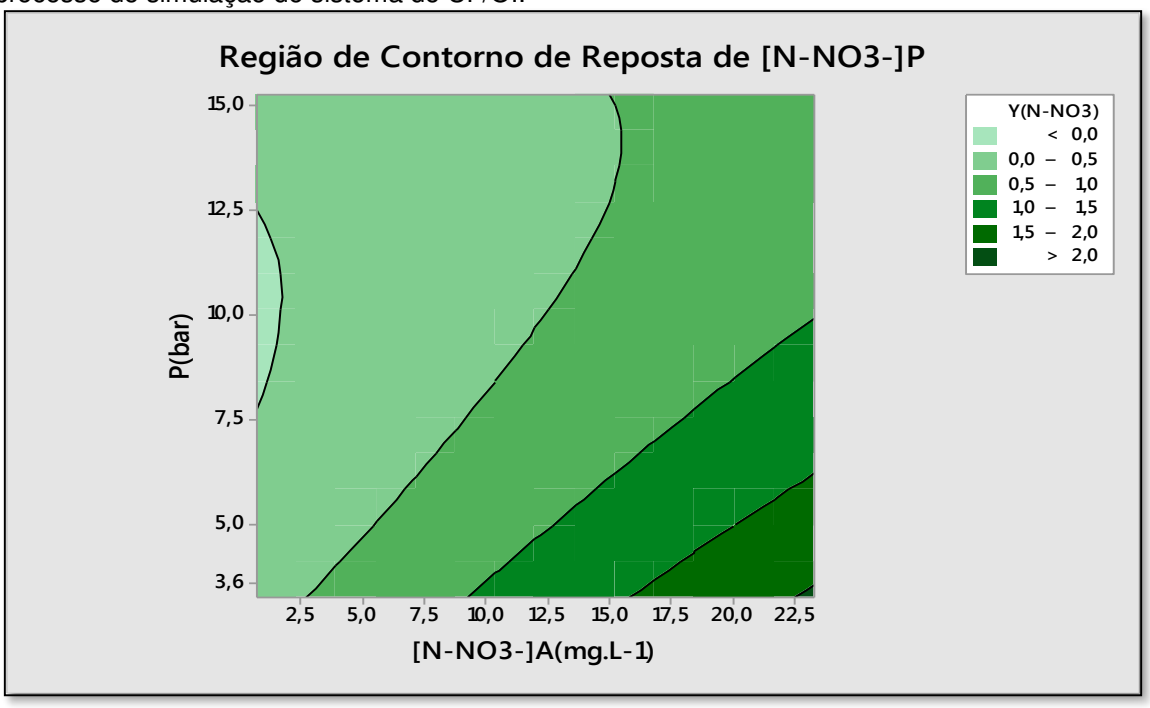
LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

O ajuste de modelo encontrado foi expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), significando descrever que 96,91% dos dados são explicados pelo modelo.

E o máximo explicável (R^2máx.) pelo modelo foi de 98,45% e 1,55% são os resíduos, ou seja, os 1,55% restantes não podem ser explicados pelo modelo, pois são atribuídos à simulação.

Na Tabela 25 os dados se ajustam ao modelo obtido, indicando que houve curvatura (modelo quadratico), embora apresente um único valor **F_{Cal} = 0,02** é menor do que o valor **F_{Tab} (1/5) = 6,61** isto é, despontando que não tem efeito significativo, ou seja, cinco coeficientes apresentam influencia na resposta. Com os resultados obtidos foi possível determinar o gráfico de contorno da Figura 25, obtendo-se melhor visualização entre a resposta e os níveis dos fatores estudados.

Figura 25. Região de contorno para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do processo de simulação do sistema de UF/OI.



Observa-se na Figura 25 que todas as regiões verdes claras e escuras indicam que, a qualidade do permeado quanto à concentração do $N\text{-}NO_3^-$ está abaixo dos 10,0 $mg.L^{-1}$, que é o valor máximo permissível. Com esses resultados mostra-se a eficiência do sistema de membranas UF/OI em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado nesta simulação.

4.1.4 Processo experimental do sistema UF/OI com água solução de nitrato

Os resultados apresentados nesta sessão são referentes aos ensaios feitos em escala experimental no sistema UF/OI para redução do nitrato em solução de nitrato, de acordo com os 11 tratamentos propostos pelo planejamento experimental; tais experimentos foram monitorados nas condições de operação do sistema de membranas de ultra/osmose com a temperatura média de T = 30ºC e o pH médio de 7,5. As tabelas e os gráficos deste monitoramento se encontram no Apêndice E.

A Tabela 26 apresenta os resultados dos 11 tratamentos propostos pelo planejamento experimental relacionados com a redução da concentração do nitrato na solução de nitrato no sistema de membranas UF/OI.

Tabela 26. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema UF/OI.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	4,00	5,00	1,44	64,00
T_2	20,00	5,00	5,98	70,01
T_3	4,00	13,50	0,26	93,50
T_4	20,00	13,50	3,06	84,70
T_5	0,68	9,25	0,04	94,12
T_6	23,31	9,25	5,56	76,15
T_7	12,00	3,24	3,32	72,33
T_8	12,00	15,26	1,41	88,25
T_9	12,00	9,25	1,65	86,25
T_{10}	12,00	9,25	1,66	86,17
T_{11}	12,00	9,25	1,64	86,08

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

O sistema de ultra/osmose mostrou bom desempenho em relação à redução da concentração do nitrato em termo de concentração de $N\text{-}NO_3^-$, obtendo uma variação na taxa de rejeição entre 64,0% a 94,15% referente aos experimentos realizados de acordo com o planejamento experimental.

Observando a Tabela 26, os menores valores encontrados em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ estão relacionados com as pressões de operações mais elevadas usado no sistema UF/OI; entretanto, esses valores obtidos em termos de concentração do nitrato estão bem abaixo do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$).

Neste processo experimental foi determinado, no sistema de membrana UF/OI, um modelo matemático usando o software (MINITAB® a versão 17.0) em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ quanto à pressão de operação do sistema UF/OI, conforme este modelo apresenta a mesma forma de regressão quadrática encontrados no processo experimental no sistema MF/NF. Pode-se observar, na Tabela 27, os coeficientes do modelo obtido para redução do $N\text{-}NO_3^-$ em solução de nitrato.

Tabela 27. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo de simulação para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	2,382	127,89	0,000	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A}$	0,131	489,35	0,000	Sig.
$\beta_{2\ (P)}$	0,434	98,67	0,000	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A{}^2}$	0,009	34,19	0,002	Sig.
$\beta_{1\ (P)^2}$	0,021	13,78	0,014	Sig.
$\beta_{1\ [N\text{-}NO3^-]_A(P)}$	0,013	12,92	0,016	Sig.

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os dados apresentados na Tabela 27 apresentam os efeitos significativos segundo o *soft,* a nível de 5,0% de probabilidade para a redução do $N\text{-}NO_3^-$ com 95,0% de confiança em que a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em relação à pressão de operação do sistema UF/OI tem influência direta na resposta.

Todos os coeficientes apresentam o valor de $\mathbf{F_{Cal}}$ maior que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/5) = 6,61** mostrando, assim, houve efeito significativo na resposta; o modelo encontrado neste processo experimental descreve, adequadamente, que os dados são representados pela Equação 4.3.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 2{,}38 + 0{,}13[N\text{-}NO_3^-]_A - 0{,}43P + 0{,}009[N\text{-}NO_3^-]^2_A + 0{,}02093P^2 - 0{,}013[N\text{-}NO_3^-]_AP \quad (4.3)$$

O modelo encontrado neste processo experimental como no processo experimental ocorrido no sistema MF/NF, foi uma regressão quadrática; daí, pode-se observar o estudo de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010) que estabeleceram um modelo matemático de regressão quadrática em relação à taxa de rejeição do nitrato obtido a partir do íon bicarbonato em solução de nitrato com $NaNO_3$, tendo em vista que o modelo da Equação 4.3, alcançado neste processo experimental, estabeleceu o mesmo tipo de regressão quadrática.

O modelo alcançado neste processo experimental se diferencia do A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010) pelos variáveis usados: concentração de $N\text{-}NO_3^-$ e a pressão de operação do sistema UF/OI.

O sistema de membrana UF/OI mostrou boa eficiência em relação à redução da concentração do nitrato; este tipo de sistema na simulação com no processo experimental, obteve bons resultados quanto à redução da concentração do nitrato.

A Tabela 28 apresenta a ANOVA para as respostas do ensaio na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 28. Análise de variância (ANOVA) para análise dos valores do processo de experimental do sistema UF/OI.

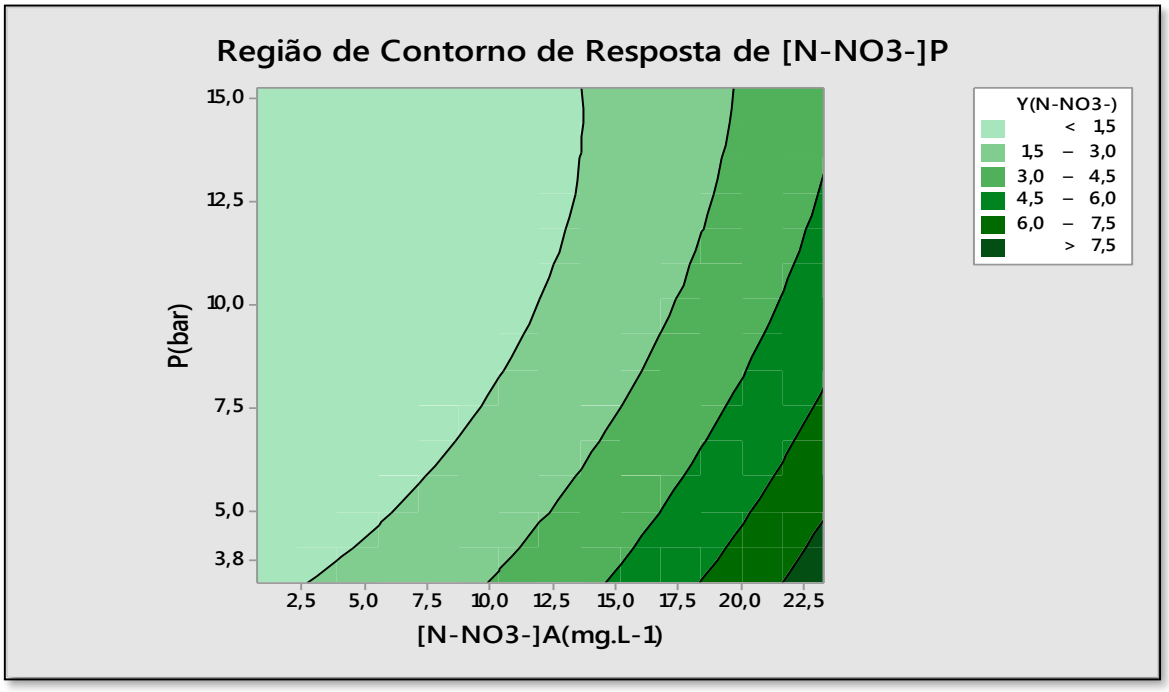
Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Model	5	37,4738	7,4948	127,89	0,000
Linear	2	34,4589	17,2294	294,01	0,000
$[N\text{-}NO_3^-]_A$	1	28,6769	28,6769	489,35	0,000
P	1	5,7820	5,7820	98,67	0,000
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ^{2}	1	1,4506	2,0034	34,19	0,002
P(bar) ^{2}	1	0,8074	0,8074	13,78	0,014
$[N\text{-}NO_3^-]_A$ P	1	0,7569	0,7569	12,92	0,016
Resíduo	5	0,2930	0,0586		
Falta de Ajuste	3	0,2928	0,0976	976,03	0,001
Puro Erro	2	0,0002	0,0001		
Total	10	37,7668			
R^2 = 99,22 %	**R^2_{MAX} = 98,45%**	**R = 0,992**			

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Observa-se, na Tabela 28, que 99,22% dos resultados encontrados se ajustam no máximo ao modelo neste processo experimental para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$. Todos os coeficientes apresentam o valor de $\mathbf{F_{Cal}}$ maior que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/5) = 6,61**, mostrando que há efeito significativo na resposta. Com a análise dos dados da ANOVA constata-se que os fatores estudados (concentração de $N\text{-}NO_3^-$ e da pressão de operação do sistema UF/OI) influenciam significativamente para a redução do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de membranas.

A partir dos dados gerados foi possível determinar o gráfico de contorno, que mostra a melhor visualização entre a resposta e os níveis dos fatores estudados, Figura 26.

Figura 26. Região de contorno para redução da concentração do N-NO_3^- no permeado do sistema de UF/OI.



Verificou-se, na Figura 26, que todas as regiões verde claro indicam que a qualidade do permeado em relação à concentração do N-NO_3^- está abaixo do valor máximo permissível, de 10,0 $mg.L^{-1}$; entretanto, esses resultados reforçam a eficiência do sistema de membranas UF/OI em relação à redução da concentração do N-NO_3^- no permeado.

4.1.4 Comparação dos sistemas MF/NF e UF/OI com solução de nitrato

Ambos os sistemas mostraram boa eficiência em relação à redução da concentração do N-NO_3^-, para a solução de nitrato. As Tabelas 30 e 31 mostram os dados obtidos através do processo de simulação e experimentalmente para os sistemas MF/NF e UF/OI para os seguintes parâmetros; pressão de operação, $[N\text{-}NO_3^-]_A$, $[N\text{-}NO_3^-]_P$ (simulado e experimental) e TR% (simulado e experimental), atendendo o planejamento experimental proposto.

Os dados obtidos com os dois sistemas de membranas, foram realizados para as mesmas faixas de concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação, todavia para diferentes pressões de operações. O fato das pressões de operação do sistema UF/OI terem sido superior das do sistema MF/NF foi em função das interações de cada simulação para cada sistema em função da concentração da água de alimentação. Esse fato era de se espera uma vez que as membranas de osmose inversa requer um gradiente pressão superior as das membranas de nanofiltração, conforme mostra os boletins técnicos de ambas no Anexo A.

Tabela 29. Dados da taxa de rejeição do processo experimental no sistema MF/NF em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ SIM.	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ EXP.	TR% SIM.	TR% EXP.
1,50	12,00	9,27	8,720	22,75	27,33
2,00	4,00	2,68	2,790	33,00	30,25
	20,00	12,46	9,210	37,70	53,95
3,20	0,68	0,36	0,399	47,06	41,32
	12,00	5,48	5,910	54,33	49,22
	23,30	10,51	7,970	54,93	65,84
4,35	4,00	1,58	2,130	60,50	46,75
	20,00	7,47	9,260	62,65	53,70
4,84	12,00	4,26	6,840	64,50	43,00

Legenda: SIM. **–** Processo simulação usado no sistema; EXP. – Processo experimental usado no sistema, $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação do sistema; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema e TR% - Taxa de rejeição.

Tabela 30. Dados da taxa de rejeição do processo experimental no sistema UF/OI em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ SIM.	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ EXP.	TR% SIM.	TR% EXP.
3,24	12,00	1,30	3,32	89,17	72,33
5,00	4,00	0,29	1,44	92,75	64,00
	20,00	1,46	5,98	92,70	70,10
9,25	0,68	0,03	0,04	95,58	94,12
	12,00	0,53	1,66	95,58	86,17
	23,30	1,04	5,56	95,54	76,18
13,5	4,00	0,14	0,26	96,50	93,50
	20,00	0,70	3,06	96,50	84,70
15,3	12,00	0,39	1,41	96,75	88,25

Legenda: SIM. **–** Processo simulação usado no sistema; EXP. – Processo experimental usado no sistema, $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação do sistema; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema e TR% - Taxa de rejeição.

Observando as Tabelas 29 e 30 em relação à concentração do nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) no permeado o sistema que apresentou o melhor resultado foi o de UF/OI. Considerando para os sistemas que operaram com os mesmos valores de pressão 3,2 bar para a concentração na alimentação de 12 $mg.L^{-1}$, observou-se a redução do $N\text{-}NO_3^-$ pelo sistema UF/OI foi maior de 1,8 vezes do que sistema MF/NF.

Observou-se, ainda que o melhor desempenho em termos de rejeição do sistema de membranas MF/NF foi de 65,84 % e o sistema UF/OI foi de 76,18% em relação à redução da concentração do nitrato, para a mesma concentração de $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação de 23,3 $mg.L^{-1}$.

Tomando como referência o estudo de KIM *et al* (2007) que testaram, para o tratamento de alta concentração de nitrato de águas residuais da indústria, a nanomembrane (NTR 729HF) e três tipos diferentes de osmose reversa (RO) membranas (CPA2, LFC1, e ESPA1), em que a membrana NF obteve uma taxa de rejeição de 67% do nitrato na concentração de alimentação de 60 $mg.L^{-1}$ de nitrato (13,55 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$), todas as membranas de OI obtiveram uma taxa de rejeição entre 90% a 99% de concentração de $N\text{-}NO_3^-$.

Com base no trabalho de KIM e em termos de rejeição da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, este estudo mostrou que os sistemas de membranas (MF/NF e UF/OI) em estudo obtiveram bom desempenho em relação à taxa de rejeição da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na solução de nitrato observado nas Tabelas 31 e 32, em que o sistema MF/NF obteve a maior taxa de rejeição de 65,84% no processo experimental bem próximo à do estudo de KIM *et al* (2007).

No sistema UF/OI a maior taxa foi de 94,12% dentro da faixa de rejeição proposto por KIM *et al* (2007) em relação às membranas de osmose inversa; já com desempenho em termos de fluxo do permeado dos sistemas de membrana (MF/NF e UF/OI), pode-se observar que, com o aumento da pressão de operação dos sistemas, o fluxo aumentou consideravelmente.

Verificou-se o comportamento dos fluxos dos sistemas de membranas nas Figuras 27 e 28. Os valores referentes aos fluxos se encontram nos Apêndices F e G, respectivamente.

Figura 27. Dados do fluxo em relação à pressão de operação do sistema de membranas MF/NF.

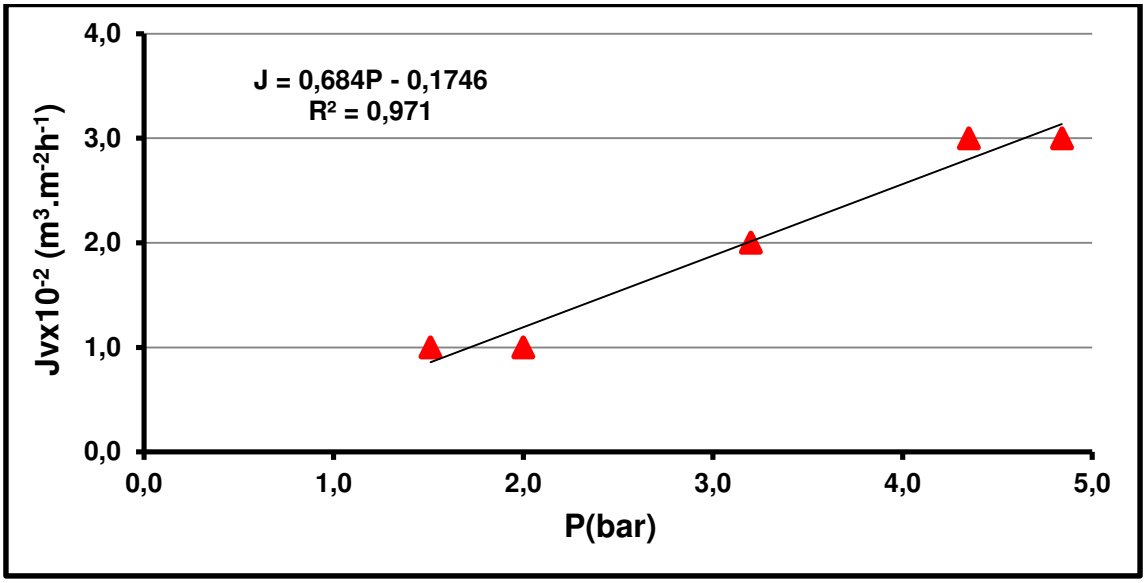
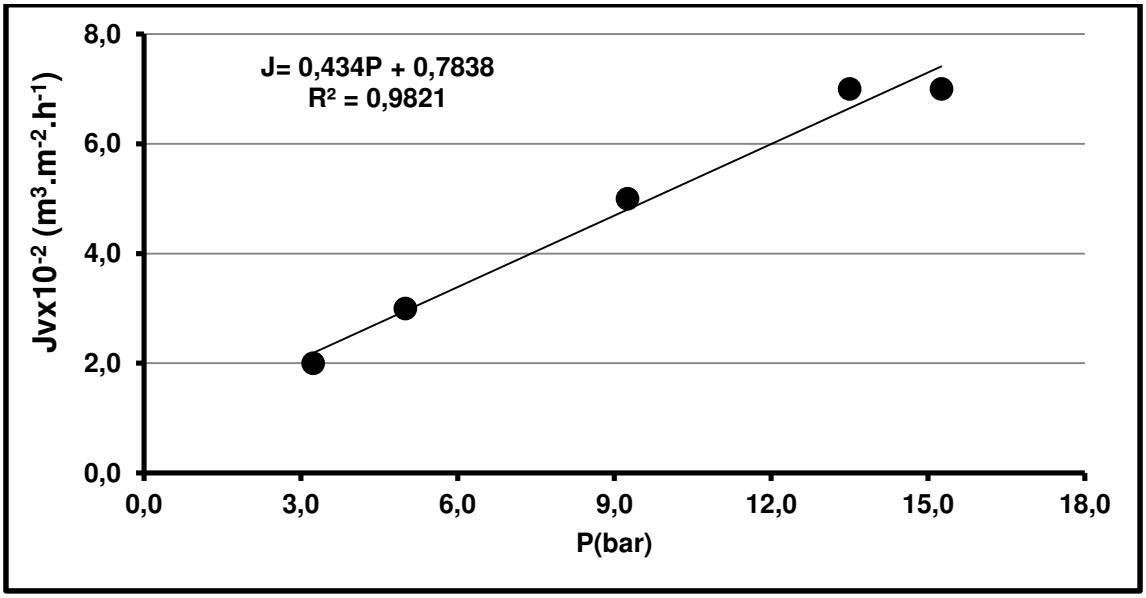


Figura 28. Dados do fluxo em relação à pressão de operação do sistema de membranas UF/OI.



Achou-se, nas Figuras 27 e 28, um aumento do fluxo em relação a pressão de operação dos sistemas, cujo sistema de UF/OI manteve maior fluxo em relação ao sistema de membranas MF/NF, em que as variações da pressão de operação deste sistema são bem maiores que os do sistema MF/NF.

GARCIA *et al* (2006) utilizaram em seu estudo, quatro membranas de nanofiltração (NF, NF90, OPMN-P e K-OPMN) em solução de nitrato preparado com água osmótica (2mS/cm) com adição $NaNO_3$ obtendo um intervalo de concentração entre 20 a 300 ppm, em que o seu maior fluxo obtido foi de 0,015 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$.

Obteve-se, no presente estudo, o maior fluxo, pelo sistema de membrana MF/NF, de 0,03 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$, quase três vezes maior do que o do estudo de GARCIA *et al* (2006); já o sistema de membranas UF/OI o maior fluxo obtido foi de 0,07 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$. Considerando que os sistemas de membranas (MF/NF e UF/OI) obtiveram bons valores em relação ao fluxo, mostrando a eficiência desses sistemas em termos fluxo no permeado.

Nos próximos itens será estudado o comportamento dos dois sistemas de membranas, propostos por este trabalho, em relação à água doce oriunda de um poço artesiano localizado na cidade de Natal – RN.

4.2 ÁGUA DOCE

Neste tópico se apresentam os resultados referentes ao processo de avaliação da água doce, obtida de um poço artesiano localizado na cidade de Natal no estado do Rio Grande do Norte no Brasil em escala de simulação e experimental para o sistema de membranas poliméricas de micro/nanofiltração e ultra/osmose inversa.

Nesses itens foi determinada a mesma sequência de organização realizada para a análise com solução de nitrato, quando será observado o processo de simulação com esta água, em seguida o processo experimental para o sistema de micro/nanofiltração e depois para o sistema de ultra/osmose inversa.

4.2.1 Processo de simulação do sistema de MF/NF com água doce

Os resultados obtidos neste processo de simulação foram aplicados no *software* MINITAB® para análise da ANOVA. A análise de variância (ANOVA) foi obtida através dos dados da Tabela 31.

Tabela 31. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema MF/NF.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	1,51	13,67	34,28
T_2	20,80	1,51	13,68	34,23
T_3	20,80	1,51	13,69	34,18
T_4	20,80	2,00	12,63	39,28
T_5	20,80	2,00	12,64	39,23
T_6	20,80	2,00	12,62	39,33
T_7	20,80	3,20	8,97	56,87
T_8	20,80	3,20	8,96	56,92
T_9	20,80	3,20	8,98	56,83
T_{10}	20,80	4,35	7,36	64,66
T_{11}	20,80	4,35	7,37	64,62
T_{12}	20,80	4,35	7,38	64,52
T_{13}	20,80	4,84	7,80	62,50
T_{14}	20,80	4,84	7,81	62,45
T_{15}	20,80	4,84	7,82	62,40

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Observando a Tabela 31 conclui-se que, dos onze tratamentos, os seis primeiros tratamentos apresentaram resultados acima do valor máximo permitido em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ que é 10,0 $mg.L^{-1}$.

Os tratamentos T7 a T15 mostraram os valores da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema MF/NF abaixo do valor máximo permissível, obtendo boa variação na taxa de rejeição entre 57,07% a 64,81 %, mostrando, assim, que em pressões mais elevadas do sistema de membranas MF/NF apresenta bom desempenho na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em água doce neste processo de simulação.

Com esses resultados obtidos pode-se determinar um modelo matemático em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em referência à pressão de operação do sistema MF/NF.

Na Tabela 32 se encontram os coeficientes do modelo obtido para redução do $N\text{-}NO_3^-$ na simulação, em relação à água doce.

Tabela 32. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo de simulação para à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
β_0 (média)	21,390	158,74	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}$ (P)	- 5,833	158,74	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}$ $(P)^2$	0,617	52,99	0,000	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A Tabela 32 indica que houve efeito significativo a nível de 5,0% de probabilidade para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, ou seja, com base no modelo gerado, o que nos permite afirmar, em relação aos resultados, que há 95,0% de confiança para a variável resposta.

O modelo encontrado neste processo de simulação com esse tipo de água descreve adequadamente os dados representados pela Equação 4.4 em que os coeficientes do modelo para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ são significativos apresentando valor de $\mathbf{F_{Cal}}$ maior do que o valor de $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75** .

$$\mathbf{[N\text{-}NO_3^-]_P = 21,39 - 5,833P + 0,6166P^2} \qquad \mathbf{(4.4)}$$

O modelo encontrado por esta simulação é uma regressão quadrática o quel a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ é constante e apenas a pressão de operação do sistema MF/NF varia, mostrando que o modelo encontrado nesta simulação tem o mesmo perfil do modelo encontrado por A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010), que determinaram um modelo matemático de regressão quadrática obtido a partir da rejeição do nitrato em relação ao íon bicarbonato em solução de nitrato.

O modelo encontrado mostra que houver influência na resposta em relação à concentração do $N\text{-}NO_3^-$ através da pressão de operação do sistema de membranas MF/NF, em que permitirá determinar a pressão de operação da membrana em relação a outros valores de concentração do nitrato que, eventualmente, surjam para este tipo de água doce. A Tabela 33 apresenta a ANOVA para os resultados da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 33. Análise de variância (ANOVA) para análise dos valores do sistema MF/NF.

Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	98,0909	49,0454	423,31	0,000
P(bar)	1	91,9509	91,9509	158,74	0,000
$P(bar)^2$	1	6,1400	6,1400	52,99	0,000
Puro Erro	12	1,3903	0,1159		
Total	14	99,4812			
R^2 = 98,4%	**R^2_{Max}= 98,6%**	**R = 0,992**			

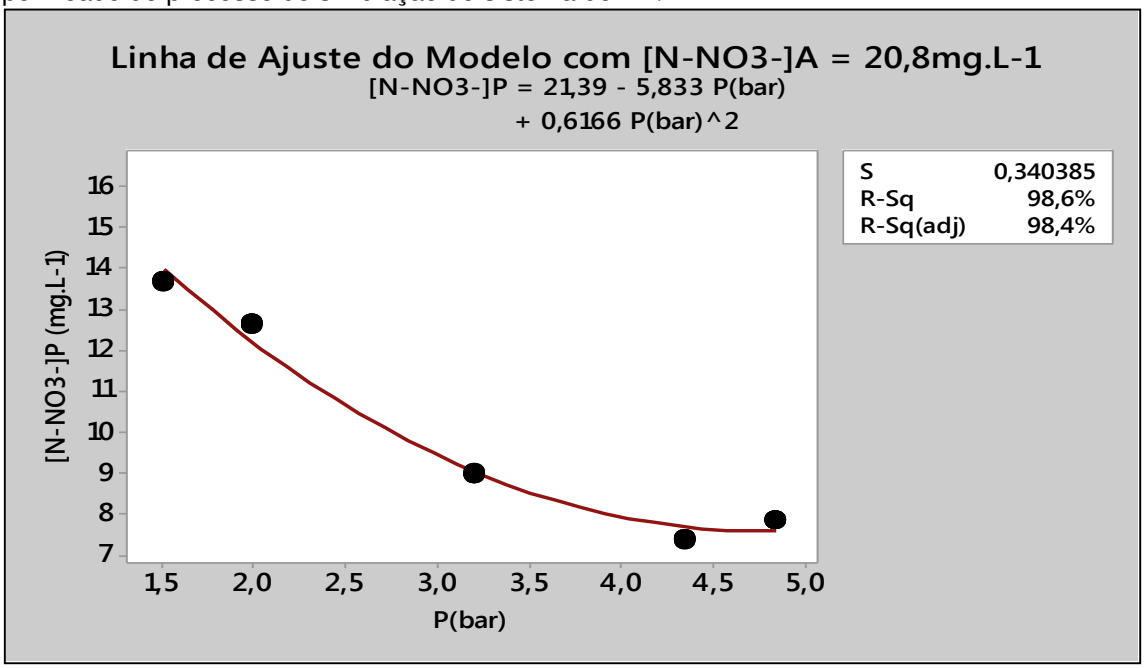
LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Constata-se, na Tabela 33, que o ajuste do modelo foi expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), significando dizer que 98,4% dos dados neste processo experimental se ajustam ao modelo para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$. Os valores de $\mathbf{F_{Cal}}$ são maiores do que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75**, mostrando efeito significativo na resposta.

Com a análise dos dados pode-se constatar que os fatores estudados (concentração de $N\text{-}NO_3^-$ e da pressão de operação da membrana) influenciam significativamente a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de membranas MF/NF nesta simulação.

A partir dos dados gerados foi possível determinar o gráfico de linha que visualiza o ajuste da resposta em relação à pressão de operação do sistema MF/NF, observado na Figura 29.

Figura 29. Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do processo de simulação do sistema de MF/NF.



Observou-se, na Figura 29, que as pressões de operação mais elevadas do sistema de membranas MF/NF obtêm os melhores resultados em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$; esses resultados encontrados estão abaixo do valor máximo permissível de 10,0 $mg.L^{-1}$, mostrando o máximo que o modelo (Equação 4.4) pode explicar é 98,6% referente a esta simulação.

4.2.2 Processo experimental com o sistema de MF/NF com água doce

Os resultados apresentados neste tópico são referentes à avaliação da água doce em escala experimental para o sistema de membranas poliméricas de micro/nanofiltração.

Tais experimentos foram monitorados nas condições de operação do sistema de membranas de micro/nanofiltração com temperatura média de T= 27ºC e o pH = 7,4 no tanque de alimentação com capacidade de 1000 L. As tabelas e gráficos deste monitoramento se encontram no Apêndice D.

O monitoramento do sistema de microfiltração/nanofiltração pode, por sua vez ser controlado via telemetria (*WIFI*), obtendo-se dados de acompanhamento real do sistema em relação às variáveis controles (pressão,

temperatura e vazão), o que se encontra no Apêndice D. A Tabela 34 proporciona os resultados em relação aos tratamentos em termos de redução da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ na água doce através do processo experimental.

Tabela 34. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema MF/NF..

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	1,51	16,30	21,64
T_2	20,80	1,51	16,31	21,59
T_3	20,80	1,51	16,32	21,49
T_4	20,80	2,00	13,36	35,77
T_5	20,80	2,00	13,37	35,72
T_6	20,80	2,00	13,38	35,67
T_7	20,80	3,20	9,69	53,41
T_8	20,80	3,20	9,71	53,31
T_9	20,80	3,20	9,70	53,36
T_{10}	20,80	4,35	7,96	61,73
T_{11}	20,80	4,35	7,97	61,68
T_{12}	20,80	4,35	7,98	61,63
T_{13}	20,80	4,84	7,50	63,94
T_{14}	20,80	4,84	7,51	63,89
T_{15}	20,80	4,84	7,53	63,80

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Observa-se, na Tabela 34, que a partir do T7 os tratamentos apresentaram resultados abaixo do limite máximo permitido em termos de concentração de $N\text{-}NO_3^-$, de 10,0 $mg.L^{-1}$, mostrando, assim, que em pressões de operação mais elevadas do sistema de membrana MF/NF apresenta bom desempenho na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em água doce e que o sistema de membranas MF/NF em relação a esse tipo de água proporciona um bom desempenho nas pressões mais elevadas, observando-se boa variação na taxa de rejeição entre 53,11 a 63,94%.

Para avaliar os resultados encontrados em termos de redução do nitrato, comparou-se com o estudo de ROMAIN *et al* (2009) que estabeleceu a remoção de íons nitratos em água potável utilizando o sistema CDI (charge-barreira capacitiva deonização), com a eficaz na remoção de nitratos (88% - 98%).

Entretanto, foi usado, no presente trabalho, um sistema de membranas poliméricas do tipo micro/nanofiltração para redução do nitrato sem ter nenhuma barreira de deonização para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em água doce.

Por meio dos resultados obtidos pode-se determinar um modelo matemático em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em relação à pressão de operação do sistema de membranas MF/NF.

A Tabela 35 mostra a significância dos coeficientes do modelo obtido para redução do $N\text{-}NO_3^-$ na simulação obtida em relação à água doce.

Tabela 35. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo de simulação para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	25,730	188,59	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}_{\ (P)}$	-7,590	188,59	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}_{\ (P)^2}$	0,797	161,26	0,000	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os dados apresentados na Tabela 35, referentes a este processo experimental mostram que houve efeito significativo no nível de 5,0% de probabilidade segundo o *software* (MINITAB@ a versão 17.0) em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, ou seja, assegurando a significância dos resultados com 95,0 % de confiança para a variável de resposta.

O modelo matemático que descreve satisfatoriamente os dados apresentados é uma regressão linear, observando-se a Equação 4.5.

$$[N\text{-}N0_3^-]_P = 25{,}73 - 7{,}59P + 0{,}797P^2 \qquad (4.5)$$

Verificou-se que o modelo proposto está relacionado diretamente com pressões de operação do sistema de membranas MF/NF mostrando o mesmo tipo de modelo encontrado na simulação para este tipo de água doce, diferenciando-se dos outros modelos anteriores encontrados em relação à solução de nitrato.

Para esta regressão quadrática pode-se fazer uma comparação como modelo de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010); trata-se de um modelo de regressão quadrática que relaciona a taxa de rejeição do nitrato em relação ao íon bicarbonato. O presente modelo encontrado neste trabalho relaciona a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ com a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema MF/NF com as pressões de operação usada neste sistema. A Tabela 36 mostra resultados da ANOVA para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 36. Análise de variância (ANOVA) para análise dos valores do sistema MF/NF .

Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	170,145	85,0723	1337,33	0,000
P(bar)	1	159,886	159,886	188,59	0,000
$P(bar)^2$	1	10,258	10,258	161,26	0,000
Puro Erro	12	0,763	0,063		
Total	14	170,908			
R^2 = 99,00%	**R^2_{Max}= 99,1%**	**R = 0,995**			

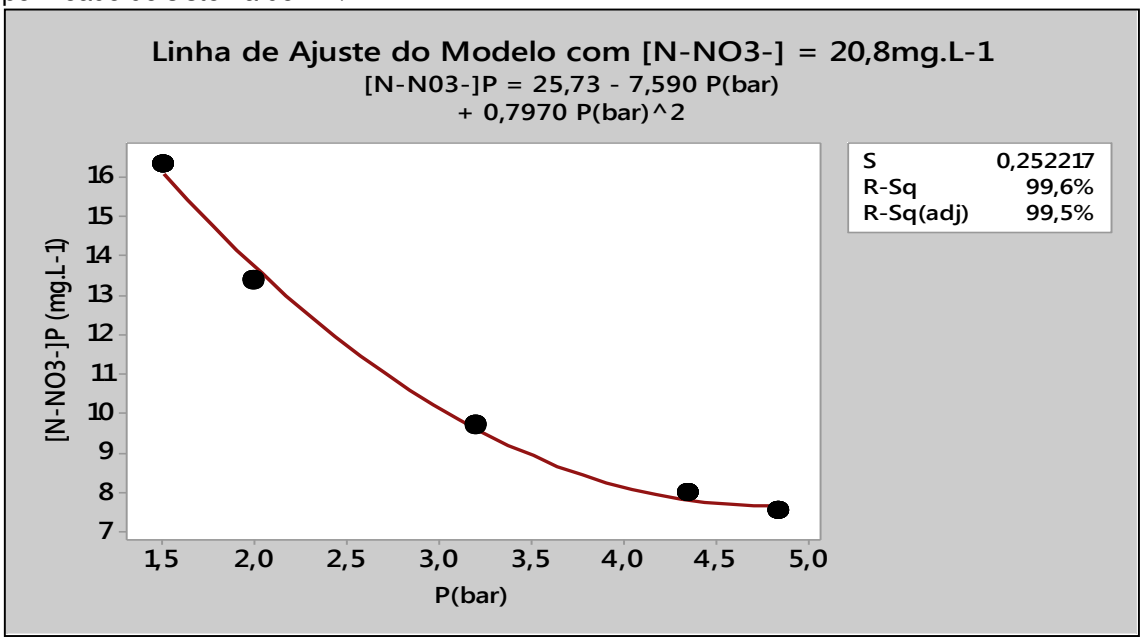
LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

O ajuste do modelo foi expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), significando que 99% dos dados são explicados pelo modelo e a variância máxima (R^2máx) explicável é de 99,1%.

Observa-se que, na Tabela 36, os dados neste processo experimental se ajustam ao modelo matemático de regressão quadrática proposto neste trabalho para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas MF/NF.

Os valores de $\mathbf{F_{Cal}}$ são maiores que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75** mostrando efeito significativo na resposta, podendo-se constatar que os fatores estudas influenciam significativamente à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado da membrana do sistema de membranas MF/NF. A partir dos dados gerados foi possível determinar o gráfico da linha de ajuste do modelo que mostra a melhor visualização entre a resposta o que pode observar na Figura 30.

Figura 30. Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de MF/NF.



Observou-se, na Figura 30, a linha de ajuste do modelo, mostrando que as pressões de operação mais elevadas do sistema de membranas MF/NF obtêm os melhores resultados em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$; esses resultados encontrados estão abaixo do valor máximo permissível de 10,0 $mg.L^{-1}$ mostrando, assim, o mesmo comportamento encontrado no processo de simulação. O modelo (Equação 4.5) pode explicar no máximo 99,6% referentes aos resultados encontrados.

O sistema de membranas MF/NF indicou boa eficiência na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em relação do tipo de água doce, observando-se que o sistema, por meio do processo de simulação como no processo experimental obtiveram-se uma variação da taxa de rejeição bem próxima.

Observaram também, os modelos matemáticos tanto no processo de simulação com no processo experimental conceberam o mesmo tipo de regressão quadrática, o qual pode possibilitam por meio de determinada concentração do nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) neste tipo de água existe busca da pressão correta a ser aplicada para poder ocasionar a redução do nitrato abaixo do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$).

No estudo de ZHANG *et al* (2013) que, estudaram a remoção do nitrato em águas subterrâneas com concentração de até 50,5 $mg.L^{-1}$ de nitrato utilizando um célula de dessalinização – desnitrificação microbiana (SMDDC), foram alcançados 92,0 % na remoção do nitrato.

Neste trabalho não foi usada célula de dessalinização – desnitrificação microbiana (SMDDC) para redução da concentração de nitrato e, sim, utilizado apenas um sistema de membranas poliméricas do tipo micro/nanofiltração em uma água subterrânea (doce) com concentração de 92,11 $mg.L^{-1}$ de nitrato (20,8 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$) utilizando-se pressões de operação da membrana do sistema MF/NF, podendo-se salientar que a pressão utilizada de 4,35 bar na membrana no sistema MF/NF obteve uma taxa rejeição de 64,81%.

Analisando o comportamento do sistema MF/NF em relação à rejeição dos outros sais por este sistema, coletou-se uma amostra do permeado a uma condição física da pressão de operação P = 3,24 bar realisando análise físico-química, por exemplo, em que o valor do TDS no permeado foi de 95,5 $mg.L^{-1}$ bom resultado em relação à potabilidade, esta análise completa se encontra no Apêndice B. O próximo passo será avaliar o comportamento desse tipo de membrana polimérica em relação à redução do nitrato com o tipo de água proposto neste trabalho.

4.2.3 Processo de simulação do sistema de UF/OI com água doce

Conforme foi avaliado, no processo de simulação no sistema de membranas MF/NF com a água doce será, neste tópico, apresentados os resultados referentes ao processo de avaliação da água doce em escala de simulação no sistema de membrana UF/OI usando-se o soft ROSA@ da Filmtec.

Os resultados obtidos neste processo de simulação foram aplicados no software (MINITAB® a versão 17.0) para análise da ANOVA; na Tabela 37 pode-se observar os resultados obtidos em relação às concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ no permeado no processo experimental.

Tabela 37. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema UF/OI.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	3,24	1,74	91,63
T_2	20,80	3,24	1,75	91,59
T_3	20,80	3,24	1,76	91,53
T_4	20,80	5,00	0,79	96,20
T_5	20,80	5,00	0,80	96,15
T_6	20,80	5,00	0,81	96,10
T_7	20,80	9,25	0,23	98,89
T_8	20,80	9,25	0,24	98,85
T_9	20,80	9,25	0,25	98,79
T_{10}	20,80	13,50	0,59	97,16
T_{11}	20,80	13,50	0,60	97,12
T_{12}	20,80	13,50	0,61	97,07
T_{13}	20,80	15,20	1,07	94,86
T_{14}	20,80	15,20	1,08	94,81
T_{15}	20,80	15,20	1,09	94,76

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Observou-se, na Tabela 37, que o sistema de membranas UF/OI obteve excelentes resultados elucidados por meio da taxa de rejeição em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ que variou entre 91,63% a 98,89%.

Todos os tratamentos apresentaram resultados abaixo do limite máximo permitido para a concentração de $N\text{-}NO_3^-$ que são de 10,0 $mg.L^{-1}$ mostrando que pressões mais elevadas do sistema UF/NF apresentam bom desempenho nesta simulação em relação à redução da concentração do nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) em água doce.

Tomando como referência o trabalho de ROMAIN *et al* (2009) em que a remoção de íons nitratos em água potável, utilizando charge-barreira capacitiva deonização, com eficaz na remoção de nitratos (88% - 98%). Usou-se, neste trabalho, um sistema de membrana UF/OI para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, cujo melhor resultado em termos de rejeição foi de 98,89%, dentro do limite de remoção proposto por ROMAIN *et al* (2009) sinal de que o sistema de membranas UF/OI teve bom desempenho na redução do nitrato.

Os resultados obtidos geraram um modelo matemático em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em relação à pressão de operação do sistema UF/NF. O modelo matemático proporcionará, por meio da concentração do nitrato que venha a haver nesse tipo de água doce, a pressão de operação que será usada sem que haja métodos de tentativas de operação do processo no sistema buscando as condições físicas de pressão de operação adequada para este sistema na remoção da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

A Tabela 38 mostra a significância em relação aos coeficientes do modelo obtido para redução do $N\text{-}NO_3^-$ nesta simulação em relação à água doce.

Tabela 38. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo de simulação para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	2,5250	15,83	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}_{\ (P)}$	-0,3041	15,83	0,002	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}_{\ (P)^2}$	0,0139	85,47	0,000	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Neste processo de simulação na Tabela 38 foi constatado que os coeficientes encontrados no modelo apresentam efeito significativo no nível de 5,0% de probabilidade segundo o *software* (MINITAB® a versão 17.0), em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, ou seja, assegurando a significância dos resultados com 95,0% de confiança para a variável de resposta. Por meio dos dados obtidos na Tabela 38 foi determinado um modelo matemático que descreve satisfatoriamente os dados apresentados, observando-se Equação 4.6.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 2{,}525 - 0{,}3041P + 0{,}01392P^2 \quad (4.6)$$

O modelo encontrado é uma regressão quadrática com o coeficiente de determinação (R^2) de 93,5%, no qual a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ é constante e apenas a pressão de operação do sistema de membranas UF/OI variou.

De vários trabalhos referenciados, pode-se tomar, como referência, o MOHAMED *et al* (2015), estudando a remoção de íons de nitrato de solução aquosa e usando nanopartículas de ferro de zero valência (ZVINPs). O mecanismo de redução de nitrato por ZVINPs foi explorado e os resultados mostraram que os íons de nitrato podiam ser reduzidos a nitrito ou em amônio e, em seguida, reduzidos a azoto gasoso, obtendo a remoção do nitrato da solução até que atingiram 90,80% depois de 5 h.

Portanto foi usado, neste trabalho, um sistema de membranas poliméricas do tipo ultra/osmose para a remoção da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, no qual foi determinado um modelo matemático que explica o comportamento do sistema UF/OI em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$. A Tabela 40 mostra resultados da ANOVA quanto à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 39. Análise de variância (ANOVA) para análise dos valores do sistema UF/OI.

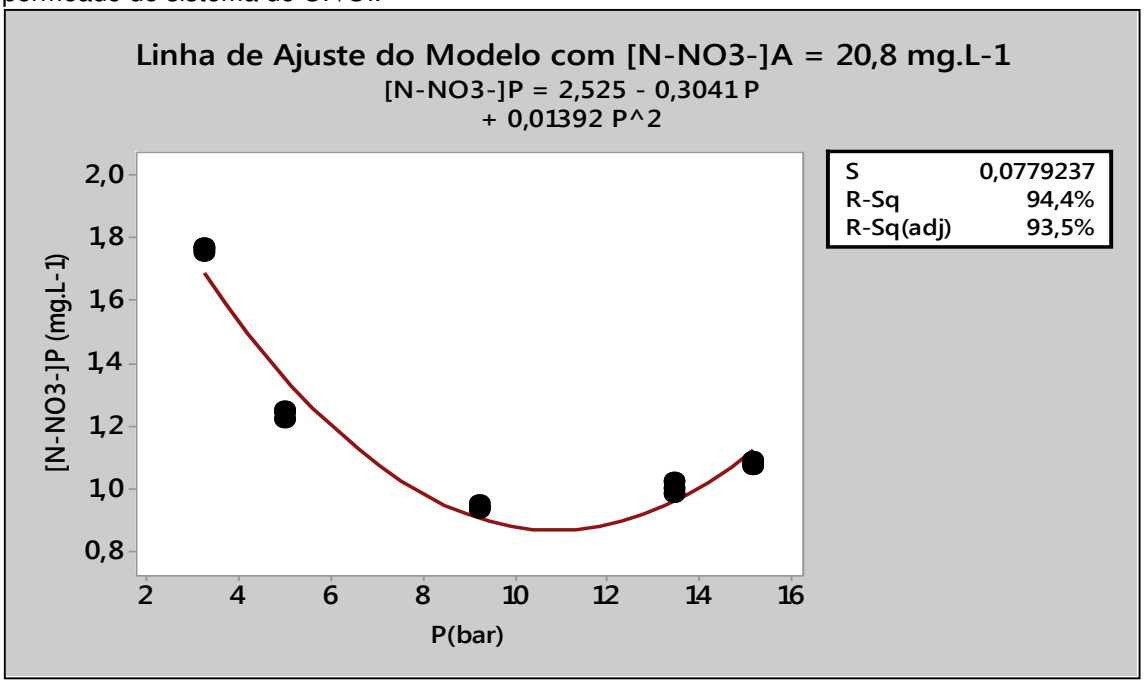
Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	1,239670	0,619834	102,08	0,000
P(bar)	1	0,720679	0,720679	15,83	0,002
$P(bar)^2$	1	0,518990	0,518990	85,47	0,000
Puro Erro	12	0,072870	0,006072		
Total	14	1,312530			
R^2 = 93,5%	**R^2_{Max}= 94,4%**	**R = 0,995**			

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A Tabela 39 mostra que o ajuste do modelo foi expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), significando que 93,5% dos dados são explicados pelo modelo e a variância máxima explicável é de 94,4%. Os valores de $\mathbf{F_{Cal}}$ são maiores que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75** sinalizando que há efeito significativo na resposta; por meio das análises dos dados da ANOVA pode-se constatar que os fatores estudados influenciam significativamente em relação à redução concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema UF/OI nesta simulação.

Com os dados gerados foi possível determinar um gráfico e verificar se o conjunto de dados se ajusta bem a uma distribuição Normal mostrando a melhor visualização entre a resposta em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$, e os níveis percentuais observados na Figura 31.

Figura 31. Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de UF/OI.



Na Figura 31, observa-se a linha de ajuste do modelo, o qual mostra que as pressões de operação mais elevadas do sistema de membranas UF/OI obteve os melhores resultados da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na simulação.

Indicando que a qualidade do permeado na simulação em relação à concentração do $N\text{-}NO_3^-$ do sistema UF/OI se mantêm todos os valores abaixo do valor máximo permissível, de 10,0 $mg.L^{-1}$, mostrando a eficiência do sistema de membranas UF/OI em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

O modelo (Equação 4.6) referente à linha de ajuste pode explicar no máximo 94,40% referentes aos resultados encontrados

4.2.4 Processo experimental do sistema de UF/OI com água doce

Os resultados exibidos neste tópico serão referentes à avaliação da água doce em escala experimental para o sistema de membranas UF/OI. Tais experimentos foram monitorados nas condições de operação do sistema de membranas de ultra/osmose inversa com temperatura média de T= 27ºC e o pH = 7,12 no tanque de alimentação com capacidade de 1000 L; as tabelas e os gráficos deste monitoramento se encontram no Apêndice E**.**

Os resultados obtidos através do processo experimental foram aplicados no software (MINITAB® a versão 17.0) para análise da ANOVA; a análise de variância (ANOVA) foi obtida através da Tabela 40.

Tabela 40. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema UF/OI.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	3,24	3,33	83,99
T_2	20,80	3,24	3,36	83,85
T_3	20,80	3,24	3,38	83,75
T_4	20,80	5,00	2,28	89,04
T_5	20,80	5,00	2,29	88,99
T_6	20,80	5,00	2,31	88,89
T_7	20,80	9,25	2,11	89,85
T_8	20,80	9,25	2,13	89,75
T_9	20,80	9,25	2,12	89,81
T_{10}	20,80	13,50	1,69	91,88
T_{11}	20,80	13,50	1,70	91,83
T_{12}	20,80	13,50	1,71	91,78
T_{13}	20,80	15,20	1,59	92,36
T_{14}	20,80	15,20	1,60	92,30
T_{15}	20,80	15,20	1,62	92,21

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Observando a Tabela 40, todos os tratamentos em relação às pressões de operação utilizada no sistema de membranas UF/OI obtiveram a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado abaixo do valor máximo permissível, que é de 10,0 $mg.L^{-1}$, obtendo uma variação na taxa de rejeição em termos de concentração de $N\text{-}NO_3^-$ entre: 83,75 a 92,36%.

Confirmando bom desempenho do sistema de membranas UF/OI obtido também no processo simulação desse sistema em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

ZHANG *et al* (2013) utilizaram, em seus estudos e em relação à remoção do nitrato em águas subterrâneas com concentração até 50,5 $mg.L^{-1}$ de nitrato, uma célula de dessalinização-desnitrificação microbiana (SMDDC), cujos resultados alcançados foram de 92,0% na remoção do nitrato.

Neste presente trabalho foi estudada a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em água subterrânea (água doce) utilizando um sistema de membranas poliméricas do tipo ultra/osmose inversa e se observou que a maior taxa de rejeição foi de 92,36%, atingindo praticamente o mesmo valor obtido por ZHANG *et al* (2013).

No referido estudo não foi preciso usar um processo de desnitrificação microbiana para redução do nitrato, mas o seu processo de separação por meio de um sistema de membranas poliméricas ultra/osmose inversa. Na Tabela 41 se encontram os coeficientes do modelo obtido para a redução do $N\text{-}NO_3^-$ pelo processo experimental.

Tabela 41. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo experimental para à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	4,1130	53,26	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}_{\ (P)}$	-0,3467	53,26	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}_{\ (P)^2}$	0,0122	6,32	0,027	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os dados apresentados na Tabela 41 mostram que os coeficientes apresentam resultado significativo no nível de 5,0% de probabilidade segundo o *software*, para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, ou seja, assegurando a significância nos resultados com 95,0% de confiança para a variável resposta.

Originou-se a Equação 4.7 por ser um modelo matemático do tipo regressão quadrático que descre satisfatoriamente os dados apresentados referentes à Tabela 42 e representa um perfil em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de membranas UF/OI.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 4{,}113 - 0{,}3467P + 0{,}01222P^2 \quad (4.7)$$

O trabalho de JAE LEE *et al* (2007), usou um tratamento biológico para a remoção do nitrato usando a bactéria *Pseudomonas sp* e um outro tratamento químico utilizando coagulantes do tipo: cal, fonte de carbono (glucose, amido e celulose), no qual o amido a 1,0% foi mais eficaz, alcançando 86,0% a 89,0% de nitrato removido.

No sistema de membranas de UF/NF usado no presente trabalho para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em águas doces, foi determinado um modelo matemático que explica o comportamento do sistema de membranas UF/OI em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, sem que precise de um coagulante ou um tratamento biológico para a redução da concentração do nitrato. A Tabela 42 apresenta os resultados da ANOVA em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 42. Análise de variância (ANOVA) para análise dos valores do sistema UF/OI.

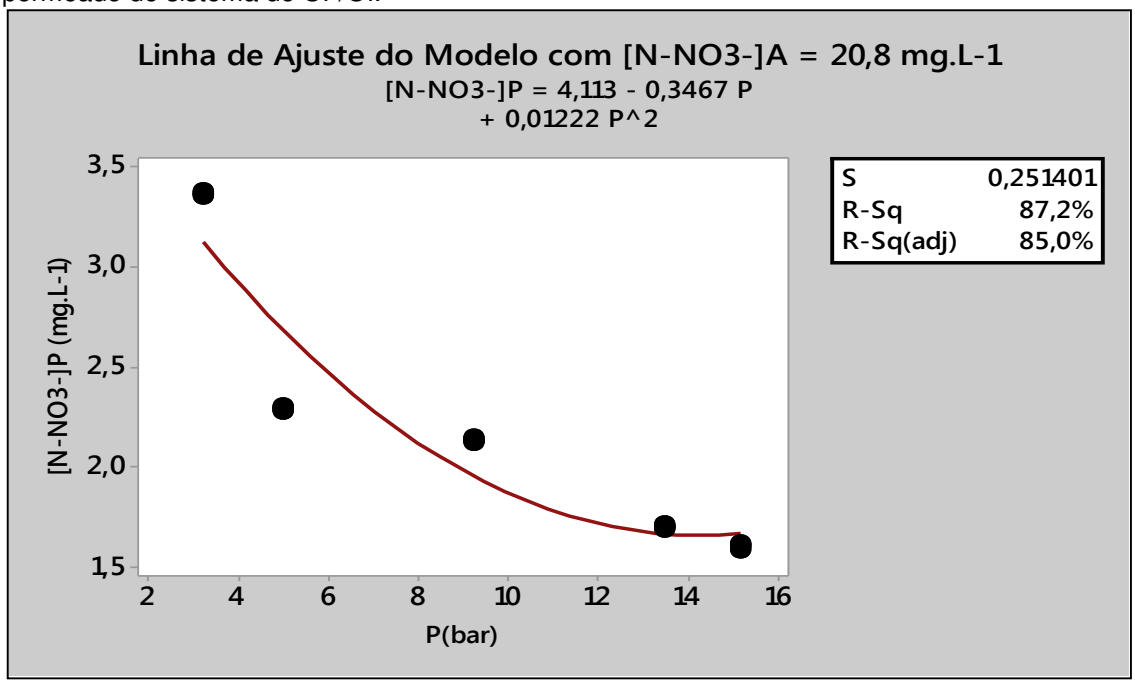
Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	5,14453	2,57227	40,70	0,000
P(bar)	1	4,74479	4,74479	53,26	0,000
$P(bar)^2$	1	0,39974	0,39974	6,32	0,027
Puro Erro	12	0.75843	0,06320		
Total	14	5,90296			
R^2 = 85,0%	**R^2_{Max}= 87,2%**	**R = 0,933**			

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Pode-se observar Tabela 42, que o ajuste do modelo (Equação 13) foi expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), significando dizer que 85,0% dos dados são explicados pelo modelo e a variância máxima explicável foi de 87,2% e que todos os valores de $\mathbf{F_{Cal}}$ são maiores que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75** mostrando que há efeito significativo na resposta, por meio das análises dos dados da ANOVA pode-se observar que os fatores estudados influenciam significativamente em relação à redução concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado no sistema de membranas UF/OI.

Gerou-se um gráfico de probabilidade de dados no qual se ajusta uma distribuição Normal que mostra a melhor visualização entre a resposta em relação à concentração do $N\text{-}NO_3^-$ e os níveis dos fatores estudados (Figura 32).

Figura 32**.** Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de UF/OI.



.

O sistema de membranas UF/OI mostra a boa eficiência na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em relação do tipo de água doce no processo experimental, a qual se observa na Figura 32 o comportamento da linha de ajuste encontrada através do modelo (Equação 4.7) que pode explica no máximo 87,2% dos resultados.

Os resultados encontrados através do sistema UF/OI por meio do processo de simulação como no processo experimental, a linha de ajuste obteve mesmo comportamento, mostrando a qualidade do permeado em relação à concentração do $N\text{-}NO_3^-$, e que todos os resultados estão abaixo do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$).

Este tipo de sistema por meio do processo de simulação com no processo experimental obteve uma variação da taxa de rejeição bem parecida em termos percentual. Também se observou o comportamento do sistema de membranas UF/OI em relação à rejeição dos outros sais, coletando-se, daí, uma amostra do permeado a uma condição física da pressão de operação P = 9,25 bar no qual foi realizada análise físico-química, por exemplo, o valor do TDS no permeado foi de 44,1 $mg.L^{-1}$ que é bom resultado em relação à potabilidade, a análise completa se encontra no Apêndice B.

4.2.5 Comparação dos sistemas MF/NF e UF/OI com água doce

Em relação a esse tipo de água, os sistemas de membranas poliméricos estudados neste trabalho mostraram boa eficiência em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ pode-se observar, por meio da análise das taxas de rejeição, o quão os sistemas podem reduzir a concentração do nitrato. As Tabelas 43 e 44 mostram as taxas de rejeição de cada sistema em relação à redução da concentração do nitrato.

Tabela 43. Média da taxa de rejeição do processo experimental no sistema MF/NF.

P (bar)	REPETIÇÕES	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ SIM.	$[N\text{-}NO_3]_P$ EXP.	TR% SIM.	TR% EXP.
1,50	3	20,80	13,68	16,31	34,23	21,59
2,00	3	20,80	12,64	13,37	39,23	35,72
3,20	3	20,80	8,96	9,64	56,92	53,65
4,35	3	20,80	7,37	7,97	64,57	61,68
4,84	3	20,80	7,81	7,51	62,45	63,89

Legenda: SIM. **–** Processo simulação usado no sistema; EXP. – Processo experimental usado no sistema; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação e $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado e TR% – Taxa de Rejeição.

Tabela 44. Média da taxa de rejeição do processo experimental no sistema UF/OI.

P (bar)	REPETIÇÕES	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ SIM.	$[N\text{-}NO_3]_P$ EXP.	TR% SIM.	TR% EXP.
3,20	3	20,80	1,75	3,35	91,59	83,86
5,00	3	20,80	0,81	2,29	96,12	88,97
9,25	3	20,80	0,24	2,12	98,83	89,80
13,50	3	20,80	0,61	1,70	97,10	91,83
15,30	3	20,80	1,08	1,61	94,79	92,29

Legenda: SIM. **–** Processo simulação usado no sistema; EXP. – Processo experimental usado no sistema; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação e $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado e TR% – Taxa de Rejeição.

Observando as Tabelas 43 e 44 em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ para este tipo de água, o sistema que apresentou o melhor desempenho nos resultado foi o sistema UF/OI, que o sistema apresenta as melhores taxas de rejeição. As maiores pressões para ambos os sistemas de membranas apresentaram as maiores taxas de rejeição quanto à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, mostrando que os sistemas conseguem reduzir a concentração de $N\text{-}NO_3^-$ nesse tipo de água.

Deferente à extração dos outros sais existentes neste tipo de água, os experimentos ocorridos no sistema UF/OI com as pressões mais altas a exemplo a pressão de 9,25 bar, se encontra no Apêndice B no qual foi feita a análise físico química, observando-se que, praticamente, ocorreu quase toda a extração desses sais ficando muito baixa.

No sistema de membranas MF/NF e em pressões de operação mais altas a exemplo a 4,35 bar, se encontra no Apêndice B, no qual também foi feita análise físico química; ocorreu extração desses sais mas a quantidade, em termos de concentração, ficou dentro dos padrões de potabilidade; portanto, para esse tipo de água o melhor sistema a ser utilizado para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ será o de MF/NF, embora à taxas de rejeição da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ sejam inferiores à do sistema UF/OI,; o sistema de membranas MF/NF em seu permeado, deixa a concentração do $N\text{-}NO_3^-$, o baixo do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$).

Em ralação ao fluxo produzido por esses sistemas, pode-se observar as Figuras 33 e 34 respectivamente pertencentes aos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI. Os valores referentes aos fluxos se encontram nos Apêndices F e G, respectivamente.

Figura 33. Comportamento do fluxo no processo experimental ocorrido no sistema de membranas MF/NF.

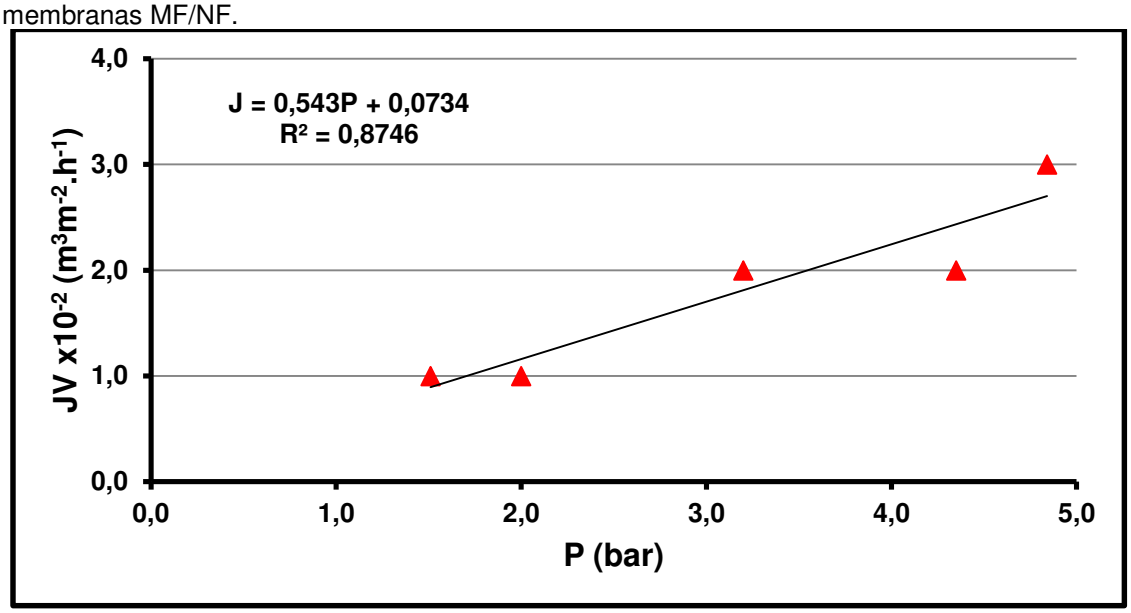
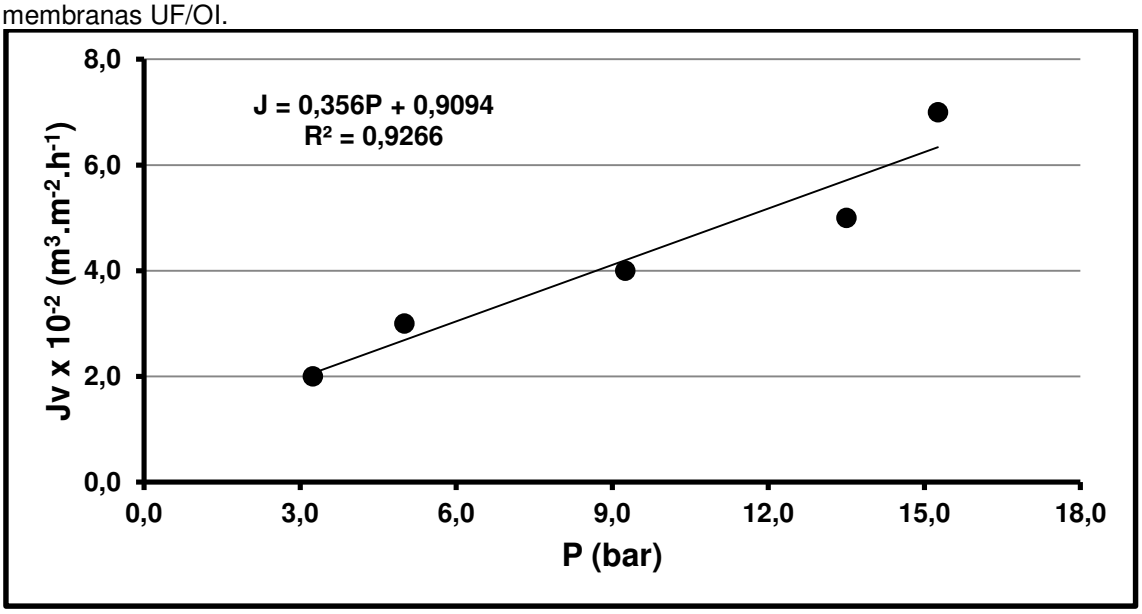


Figura 34. Comportamento do fluxo no processo experimental ocorrido no sistema de membranas UF/OI.



Os fluxos dos sistemas MF/NF e UF/OI continuaram o mesmo comportamento verificado na solução de nitrato, já estudada, em que o fluxo aumentou com o aumento da pressão de operação dos sistemas o qual podendo-se observar nas Figuras 34 e 35. Conforme o estudo de GARCIA *et al* (2006) utilizaram quatro membranas de nanofiltração (NF, NF90, OPMN-P e K-OPMN) em solução de nitrato preparado com uma água de osmótica (2mS/cm) com adição $NaNO_3$ e obtiveram um intervalo de concentração entre 20 a 300 ppm, o qual o seu maior fluxo obtido foi de 0,015 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$.

O maior fluxo obtido pelo sistema de membrana MF/NF em relação a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ foi de 0,03 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$ obtendo o mesmo valor adquirido quando se estudou o comportamento do sistema em relação a solução de nitrato, quase três vezes maior do que o estudo de GARCIA *et al* (2006); já no sistema de membranas UF/OI o maior fluxo obtido em relação a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ foi de 0,07 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$; também obteve o mesmo valor do fluxo obtido na solução de nitrato.

Considerando que os sistemas de membranas (MF/NF e UF/OI) obtiveram bons valores em relação ao fluxo, o qual mostra a eficiência desses sistemas em termos fluxo no permeado. Nos próximos itens será estudado o comportamento dos dois sistemas de membranas poliméricas propostos por este trabalho em relação à água salobra oriunda de duas localidades do estado da Paraíba.

4.3. ÁGUAS COM ADIÇÃO DE NITRATO

Neste tópico serão avaliados os resultados, dos dados obtidos a partir dos dois sistemas estudados (MF/NF) e (UF/OI), para o tratamento de dois tipos de águas com adição de nitrato de sódio ($NaNO_3$), como fonte de concentração de $N\text{-}NO_3^-$;

- Água de abastecimento da rede coletada no LABDES/UFCG;
- Água de poço da comunidade de Uruçu/São João do Carirí-PB.

Momentaneamente, a água da torneira não se encontrava dentro dos padrões de potabilidade, em relação às concentrações aos íons de sódio e cloreto, conforme mostra o laudo da análise físico-química (Apêndice A). Esse fato de certa forma contribuiu no desenvolvimento do trabalho, para averiguar os tratamentos de águas salobras que podem apresentar concentrações de nitrato presente acima do valor máximo permissível.

Nesta etapa do trabalho foi considerado o seguinte procedimento;

- para a água de abastecimento com adicionamento de nitrato de sódio, foram realizada a simulação e a parte experimental;
- no caso da água do poço foi realizado somente a parte experimental em função do melhor desempenho obtido experimentalmente, com a água da torneira.

Esse mesmo procedimento foi realizado com os mesmos tipos de águas para o sistema UF/OI.

4.3.1 Processo de simulação no sistema de MF/NF com água de abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato

Tomando o mesmo procedimento dado para a simulação da água doce, neste tópico, são apresentados os resultados da avaliação da água de abastecimento com adição de nitrato de sódio ($NaNO_3$), para uma concentração de $N\text{-}NO_3^-$ de 20,8 $mg.L^{-1}$, a qual ficou muito próximo da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ da água doce do poço Felipe Camarão – Natal (R.G. Norte), conforme mostra no Item 3.1.3.

O processo de simulação foi estudado através do software ROSA@ 7.2 e seus resultados foram usados no *software* (MINITAB@ versão 17.0) para análise da ANOVA.

A Tabela 45 apresenta os resultados obtidos em relação às concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado neste processo de simulação.

Tabela 45. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema MF/NF.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	1,51	15,30	26,44
T_2	20,80	1,51	15,31	25,39
T_3	20,80	1,51	15,32	25,35
T_4	20,80	2,00	13,50	35,09
T_5	20,80	2,00	13,51	35,05
T_6	20,80	2,00	13,52	35,00
T_7	20,80	3,20	9,30	55,29
T_8	20,80	3,20	9,31	55,24
T_9	20,80	3,20	9,32	55,19
T_{10}	20,80	4,35	8,31	60,05
T_{11}	20,80	4,35	8,32	60,00
T_{12}	20,80	4,35	8,33	59,95
T_{13}	20,80	4,84	7,70	62,98
T_{14}	20,80	4,84	7,71	62,93
T_{15}	20,80	4,84	7,72	62,88

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Observa-se, na Tabela 45, que dos onze tratamentos os tratamentos T_7 a T_{15} apresentaram resultados abaixo do valor máximo permitido em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ de 10,0 $mg.L^{-1}$, onde os nove tratamentos alcançaram uma variação na taxa de rejeição em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ entre 57,77% a 63,46%. Mostrando assim, que em pressões mais elevadas ocorrida no sistema de membranas MF/NF apresentado, bom desempenho na redução da concentração $N\text{-}NO_3^-$. Na Tabela 46 estão expostos os coeficientes do modelo encontrado nesta simulação para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em relação à água salobra.

Tabela 46. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo de simulação para à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	24,20	177,28	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}_{\ (P)}$	-7,660	177,28	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}_{\ (P)^2}$	0,7062	112,37	0,000	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Analisando a Tabela 46, a relação ao processo de simulação no qual mostra que houve um efeito significativo ao nível de 5,0% de probabilidade segundo o *software* (MINITAB versão 17.0) para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, assegurando a significância dos resultados com 95,0% de confiança para a variável de resposta.

Originou-se um modelo matemático (Equação 4.8) do tipo regressão linear que descreve satisfatoriamente os dados apresentado e, que representa um perfil linear a referência à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de membranas MF/NF.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 24{,}20 - 6{,}856P + 0{,}7237P^2 \quad (4.8)$$

O modelo matemático encontrado é uma regressão quadrática, onde pode se observar o estudo de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010), que determinaram um modelo quadrático em relação a taxa de remoção do nitrato por meio da concentração do íon bicarbonato. O modelo encontrado (Equação 4.8) estabelece uma relação da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ constante na alimentação do sistema MF/NF em relação à pressão de operação do sistema, propiciando o melhor meio físico da pressão de operação do sistema.

Em seu trabalho, MOHAMED *et al* (2015) estudaram a remoção de íons de nitrato em solução aquosa usando nanopartículas de ferro de zero valência (ZVINPs), mostrando que este mecanismo de redução de nitrato por ZVINPs pod-se reduzir a nitrito ou em amônio; em seguida, foi utilizado ultra sons para redução tempo de 3 horas obtendo uma taxa de rejeição de 87,9%.

Já o presente trabalho foi utilizado o sistema de membranas MF/NF para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ neste tipo de água salobra contendo 20,8 $mg.L^{-1}$ em termo de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em menos tempo e sem precisar acelerar o tempo com ultrassom na redução do nitrato.

A Tabela 47 mostra os resultados da ANOVA em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ obtidos os resultados pelo sistema MF/NF.

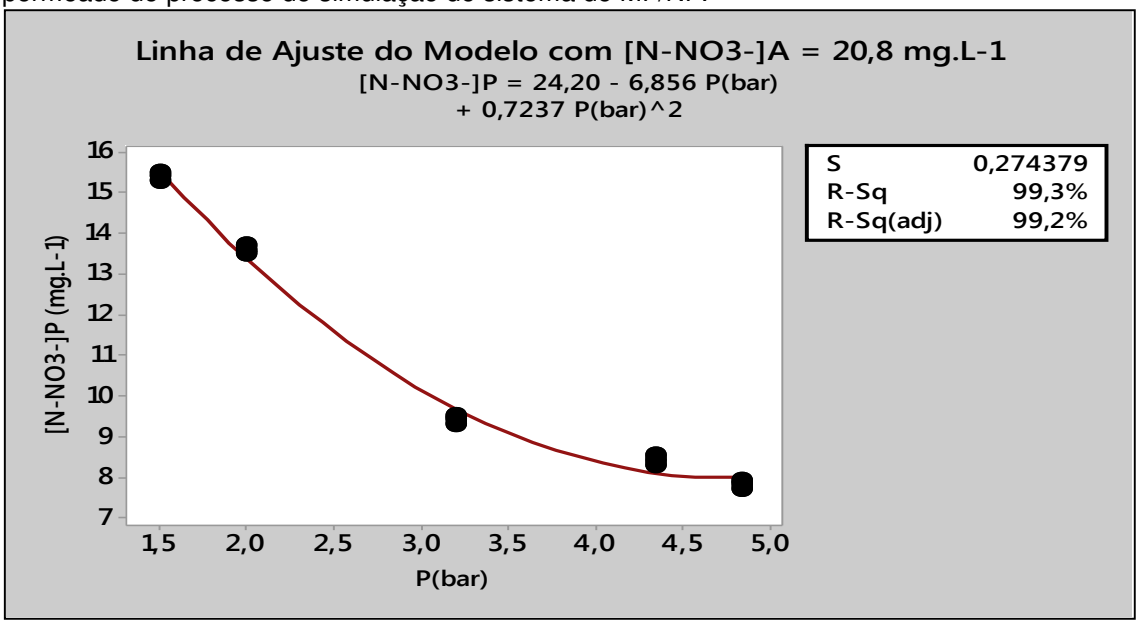
Tabela 47. Análise de variância (ANOVA) para análise dos valores do sistema MF/NF.

Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	136,141	68,0703	904,18	0,000
P(bar)	1	127,681	127,681	177,28	0,000
$P(bar)^2$	1	8,459	8,459	112,37	0,000
Puro Erro	12	0,903	0,0753		
Total	14	137,044			
R^2 = 99,2%	**R^2_{Max}= 99,3%**	**R = 0,996**			

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Observando o ajuste do modelo expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), significa que 99,2% dos dados são explicados pelo modelo e a variância máxima (R^2_{Max}.) explicável é de 99,3%, de acordo com a Tabela 47. O valor de $\mathbf{F_{Cal}}$ é maior do que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75** observando-se que houve efeito significativo na resposta; daí, pode-se analisar que os fatores estudados influenciam significativamente em relação à redução concentração do nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) no permeado no sistema de membranas UF/OI; entretanto, gerou-se um gráfico de ajuste do modelo por meio do modelo matemático que é uma regressão quadrática, mostrando a melhor visualização entre a resposta em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ observado na Figura 35.

Figura 35. Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do processo de simulação do sistema de MF/NF.



A Figura 35 mostra linha de ajuste do modelo no qual as pressões de operação mais elevadas do sistema de membranas MF/NF obtiveram neste processo de simulação, os melhores resultados, em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$; tais resultados encontrados estão abaixo do valor máximo permissível de 10,0 $mg.L^{-1}$; portanto, o modelo (Equação 4.8) pode explicar no máximo 98,6% referentes aos resultados encontrados.

4.3.2 Processo experimental no sistema MF/NF com água abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato

Este tópico apresenta os resultados da avaliação da água abastecimento com adição de nitrato em escala experimental do sistema de membranas poliméricas micro/nanofiltração, usando o *software* ROSA@ 7.2 da Filmtec. Os experimentos realizados foram monitorados nas condições de operação do sistema de membranas de micro/nanofiltração com a temperatura média de T = 28,5 ºC e um pH = 7,4 no tanque da alimentação com capacidade de 1000 L. As tabelas e os gráficos deste monitoramento se encontram no Apêndice D.

Os resultados obtidos no processo experimental foram aplicados no *software* (MINITAB@ versão 17.0) para análise da ANOVA; a análise de variância (ANOVA) é obtida através da Tabela 48.

Tabela 48. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema MF/NF.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	1,51	19,12	8,07
T_2	20,80	1,51	19,13	8,03
T_3	20,80	1,51	19,14	7,98
T_4	20,80	2,00	17,30	16,83
T_5	20,80	2,00	17,31	16,78
T_6	20,80	2,00	17,33	16,68
T_7	20,80	3,20	11,80	43,27
T_8	20,80	3,20	11,81	43,22
T_9	20,80	3,20	11,82	43,17
T_{10}	20,80	4,35	9,45	54,67
T_{11}	20,80	4,35	9,46	54,52
T_{12}	20,80	4,35	9,44	54,61
T_{13}	20,80	4,84	8,83	57,55
T_{14}	20,80	4,84	8,84	57,50
T_{15}	20,80	4,84	8,87	57,36

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Observa-se, na Tabela 48, que a partir dos tratamentos T10 a T15, que apresentaram resultados abaixo do valor máximo permitido em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ que é 10,0 $mg.L^{-1}$; Já na simulação os valores dos tratamentos que melhor tiveram, relação à redução do $N\text{-}NO_3^-$ a partir dos tratamentos T7 a T15.

Com base no evento de que os tratamentos que apresentaram os resultados em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ abaixo do valor máximo permissível foram os que apresentaram as pressões de operação mais altas, ocorridas no sistema de membranas MF/NF, obtendo-se um desempenho razoável em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

No que se refere ao comportamento do sistema de membranas MF/NF em termos de rejeição dos outros sais foi coletada uma amostra do permeado a uma pressão de operação do sistema, por exemplo, P = 2,0 bar no qual foi realizada análise físico-química. A análise físico-química referente a esta pressão e de outra pressão se encontra no Apêndice B**.**

A Tabela 49 apresenta os coeficientes do modelo obtidos neste processo experimental em relação à redução do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 49. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo experimental para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	29,360	358,71	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}_{\ (P)}$	-7,660	358,71	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}_{\ (P)^2}$	0,706	89,92	0,000	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Na Tabela 49 se refere ao processo experimental o qual mostra que efeito significativo no nível de 5,0% de probabilidade segundo o *software* (MINITAB@ versão 17.0) para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, assegurando a significância dos resultados com 95,0% de confiança para a variável de resposta.

O modelo que descreve satisfatoriamente os dados está apresentado na Equação 4.9 em que o modelo mostra uma linearidade para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas MF/NF de acordo com o planejamento experimental proposto.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 29{,}36 - 7{,}660P + 0{,}7062P^2 \quad (4.9)$$

O modelo encontrado para o processo experimental, é uma regressão quadrática que apresenta o mesmo modelo encontrado no processo de simulação, e a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ é fixa e apenas a pressão do sistema de membranas MF/NF.

O modelo matemático é uma regressão quadrática podendo-se fazer a comparação como modelo de A. SANTAFÉ-MOROS *et al* (2010), que se refere a um modelo de regressão quadrático, em que a taxa de rejeição do nitrato foi utilizado relação ao íon bicarbonato em soluções de nitrato.

Conforme o modelo encontrado (Equação 4.9) que relaciona a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ constante na alimentação do sistema MF/NF com a pressão de operação do sistema pode propiciar o melhor meio físico da pressão de operação do sistema.

MOHAMED *et al* (2015) estudaram a remoção de íons de nitrato em solução aquosa usando nanopartículas de ferro de zero valência (ZVINPs), mostrando que este mecanismo de redução de nitrato por ZVINPs pode reduzir a nitrito ou em amônio; em seguida, foi utilizado ultrassom para redução tempo para 3 horas obtendo uma taxa de rejeição de 87,9%; no presente trabalho foi utilizado neste processo experimental, um sistema de membrana MF/NF em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, os autores obtiveram a maior taxa de rejeição obtida, de 57,55%, mostrando que o sistema MF/NF não tem bom desempenho no processo experimental o que foi refletido também no processo de simulação.

A Tabela 50 apresenta a ANOVA em relação aos resultados em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

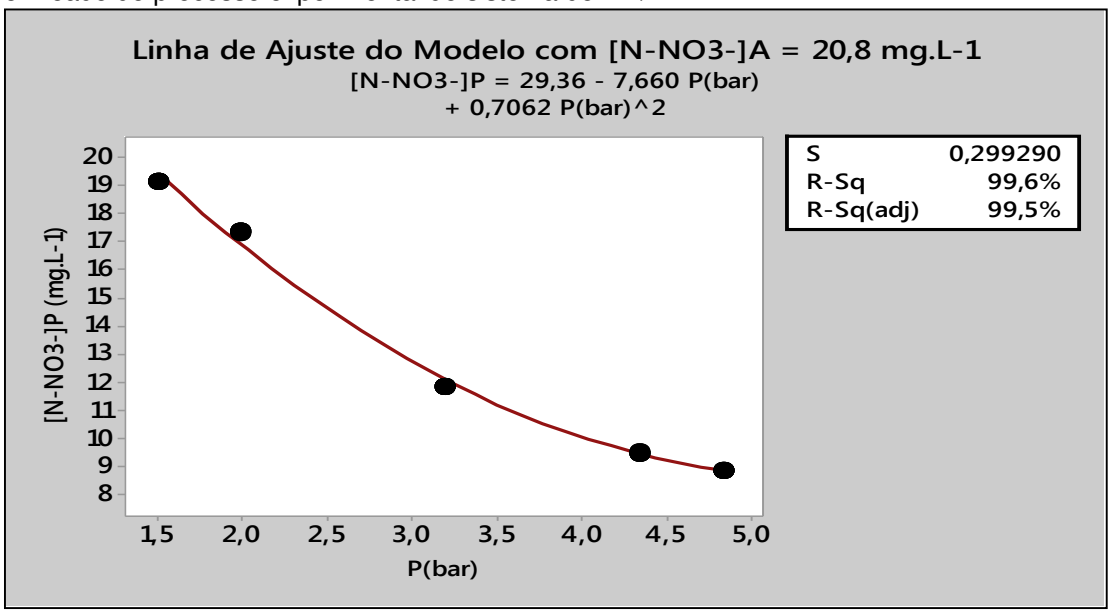
Tabela 50. Análise de variância (ANOVA) para análise dos valores do sistema MF/NF.

Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	259,965	129,982	1451,11	0,000
P(bar)	1	251,910	251,910	358,71	0,000
$P(bar)^2$	1	8,055	8,055	89,92	0,000
Puro Erro	12	1,075	0,090		
Total	14	261,040			
R^2 = 99,5%	**R^2_{Max}= 99,6%**	**R = 0,997**			

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Com base na Tabela 50 observa-se que 99,5% dos dados obtidos experimentalmente se ajustam ao modelo e o máximo (R^2_{Max}.) que o modelo pode (Equação 4.9) explicar, é de 99,6%. Analisando os valores de $\mathbf{F_{Cal}}$ que são maiores que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75** há efeito significativo na resposta podendo-se afirmar que os fatores estudados influenciam significativamente em relação à redução concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema de membranas MF/NF; porém a Figura 36 mostra o gráfico da linha de ajuste por meio do modelo matemático que é uma regressão quadrática, indicando a melhor visualização entre a resposta, em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Figura 36. Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do processo experimental do sistema de MF/NF.



O gráfico da linha de ajuste observado na Figura 36 estabelece o modelo (Equação 4.9) encontrado que pode explicar, no máximo, 99,6% referentes aos resultados, cujas pressões de operação mais elevadas do sistema de membranas MF/NF obtiveram, neste processo experimental, os melhores resultados em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$; esses resultados encontrados estão abaixo do valor máximo permissível de 10,0 $mg.L^{-1}$.

Os resultados encontrados mostram que a eficiência do sistema de membranas MF/NF em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ neste tipo de água tanto no processo de simulação como no processo experimental, apresentou desempenho baixo em comparação com os resultados ocorridos com a água doce.

4.3.3 Análise do desempenho MF/NF com água do poço da localidade de Uruçu

O sistema MF/NF operou com água do poço localidade de Uruçu, localizado no município de São João do Cariri–PB, conforme já mencionado, sob a pressão de 4,0 bar, a qual apresentou melhor resultado, na redução da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ com água de abastecimento com adição de nitrato de sódio.

Na água do poço foi adicionado 20,8 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$ apresentando assim uma concentração final de 2261 $mg.L^{-1}$ em termos de Sólidos Totais Dissolvidos (STD). O referido sistema sob a pressão de 4,0 bar apresentou uma taxa de rejeição (TR%) de 34,0% em termos de STD e 60,57% em relação a taxa de rejeição de $N\text{-}NO_3^-$, os quais se encontram abaixo do valor máximo permissível da Portaria Legislação Brasileira 2914/2011 do Ministério da Saúde, conforme mostra a Tabela 51.

Tabela 51. Análises físico-químicas da água do poço de Uruçu do Município de São João do Cariri – PB, do concentrado, permeado e a taxa de rejeição do sistema MF/NF.

PARÂMETROS	Alimentação	$[NF]_C$	$[NF]_P$	TR%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 ºC	3.050,00	5.240,00	1.420,00	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,30	7,80	7,30	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	4,90	0,60	0,50	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	15,00	15,00	0,00	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	92,50	182,40	18,80	79,68	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	102,00	177,50	17,50	82,84	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	656,30	1.195,50	120,00	81,72	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	509,40	723,40	167,20	67,18	200,0
Potássio (K^+), mg/L	9,10	11,80	2,70	70,33	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,25	0,00	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,45	0,18	0,06	86,67	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,00	0,00	0,00	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,00	20,80	0,00	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	390,00	347,20	62,40	84,00	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	390,00	368,00	62,40	84,00	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	148,40	181,90	33,40	77,22	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	905.30	1.426,40	376,30	58,43	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	**20,00**	**22,90**	**13,20**	**34,00**	**10,0**
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,02	0,04	0,01	50,00	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	1,85	0,90	0,24	87,03	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	16,10	23,30	8,10	49,69	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,24	0,94	-1,20	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	2.261,00	4.990,50	891,40	60,57	1.000,0

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[NF]_C$ – Concentração do concentrado; $[NF]_P$ – Concentração do permeado

.

O fato da taxa de remoção do nitrato para água de abastecimento com adicionada com nitrato ter sido maior é devido a pressão osmótica do meio aquoso ser menor (4,0 bar) do que a pressão osmótica da água do poço (4,0 bar), conforme mostra as simulações de ambas no Apêndice C. Logo o efeito da pressão de 4,0 bar foi mais efetiva na água da torneira do que na água do poço de Uruçu.

Considerando o Boletim Técnico da membrana no Anexo A, a sua recuperação máxima é de 19%, para isso não se fez necessário realizar uma batelada com pressões acima do recomendável (> 4,0 bar), para reduzir a concentração de nitrato no permeado, conforme mostra a simulação do sistema sob a uma pressão de 6,0 bar. Com esse procedimento, houve uma redução de custo em termos de experimentos e análises.

Nos próximos itens será discutido o desempenho do sistema de UF/OI com este tipo de água de abastecimento salobra com adição de nitrato no processo de simulação e no processo experimental.

4.3.4 Processo de simulação no sistema de UF/OI com água abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato

Com o intuito de avaliar os resultados obtidos em escala do processo de simulação para o sistema de membranas polimérica ultra/osmose, utilizou-se o *software* (ROSA@ 7.2 da Filmtec) e os resultados obtidos nesta simulação foram aplicados no *software* (MINITAB@ versão 17.0) para análise da ANOVA.

A Tabela 52 apresenta os resultados obtidos em relação às concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ no permeado neste processo de simulação.

Tabela 52. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema UF/OI.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	3,24	3,09	85,14
T_2	20,80	3,24	3,10	85,10
T_3	20,80	3,24	3,11	85,05
T_4	20,80	5,00	1,90	90,87
T_5	20,80	5,00	1,91	90,82
T_6	20,80	5,00	1,92	90,77
T_7	20,80	9,25	1,11	94,66
T_8	20,80	9,25	1,12	94,62
T_9	20,80	9,25	1,13	94,57
T_{10}	20,80	13,50	0,86	95,87
T_{11}	20,80	13,50	0,87	95,82
T_{12}	20,80	13,50	0,88	95,77
T_{13}	20,80	15,20	0,79	96,20
T_{14}	20,80	15,20	0,80	96,15
T_{15}	20,80	15,20	0,81	96,11

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

O estudo no processo de simulação alcançou por meio do sistema de membranas UF/OI, bons resultados, em termos de taxa de rejeição referente à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ variando entre 85,05 a 96,20%.

Observando, na Tabela 52, que todos os tratamentos apresentaram resultados abaixo do limite máximo permitido em relação à concentração do $N\text{-}NO_3^-$, de 10,0 $mg.L^{-1}$; mostrando que pressões mais elevadas do sistema de membrana UF/OI apresentaram ótimo desempenho neste processo de simulação.

A Tabela 53 apresenta os coeficientes do modelo linear obtido em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ neste processo experimental obtida em relação à água doce a nível de 95,0% de confiança (α = 0,05).

Tabela 53. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo de simulação para à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	4,6880	60,09	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}_{\ (P)}$	-0,6178	60,09	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}_{\ (P)^2}$	0,0243	46,03	0,000	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os dados apresentados na Tabela 53 se referem ao processo de simulação, o qual mostra o efeito significativo no nível de 5,0% de probabilidade segundo o *software* (MINITAB®17.0) para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, ou seja, assegurando a significância dos resultados com 95,0% de confiança para a variável resposta.

O modelo encontrado se que satisfaz os dados está apresentado na Equação 4.10 em que o modelo mostrado é uma regressão quadrática para a redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas UF/OI.

$$[N\text{-}NO_3^-]_P = 4{,}668 - 0{,}6178P + 0{,}02432P^2 \qquad (4.10)$$

O modelo encontrado por este processo de simulação está relacionado com a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ constante e à pressão de operação no sistema de membranas UF/OI.

Quanto à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, RAZI *et al* (2015) encontraram, no seu trabalho, um sistema de membranas poliméricas do tipo nanofiltração seguido de um a membrana osmose inversa para remoção do íon nitrato em águas com produção de baixa salinidade, o sistema consiste de um passo de NF seguido de filtração RO, atingindo altas recuperações totais de 91,6% e 94,3%, o que não gerou modelo matemático, algum.

Neste trabalho o sistema de membranas poliméricas usado foi do tipo ultra/osmose inversa, no qual foi determinado um modelo matemático que explica o comportamento em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$; no entanto e por meio dos resultados alcançados.

A Tabela 54 que apresenta a ANOVA para os resultados em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 54. Análise de variância (ANOVA) para os valores do sistema UF/OI.

Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	10,8124	5,40618	157,14	0,000
P(bar)	1	9,22866	9,22866	60,09	0,000
$P(bar)^2$	1	1,58371	1,58371	46,03	0,000
Puro Erro	12	0,4128	0,03440		
Total	14	11,2252			
R^2 = 95,7%	**R^2_{Max}= 96,3%**	**R = 0,981**			

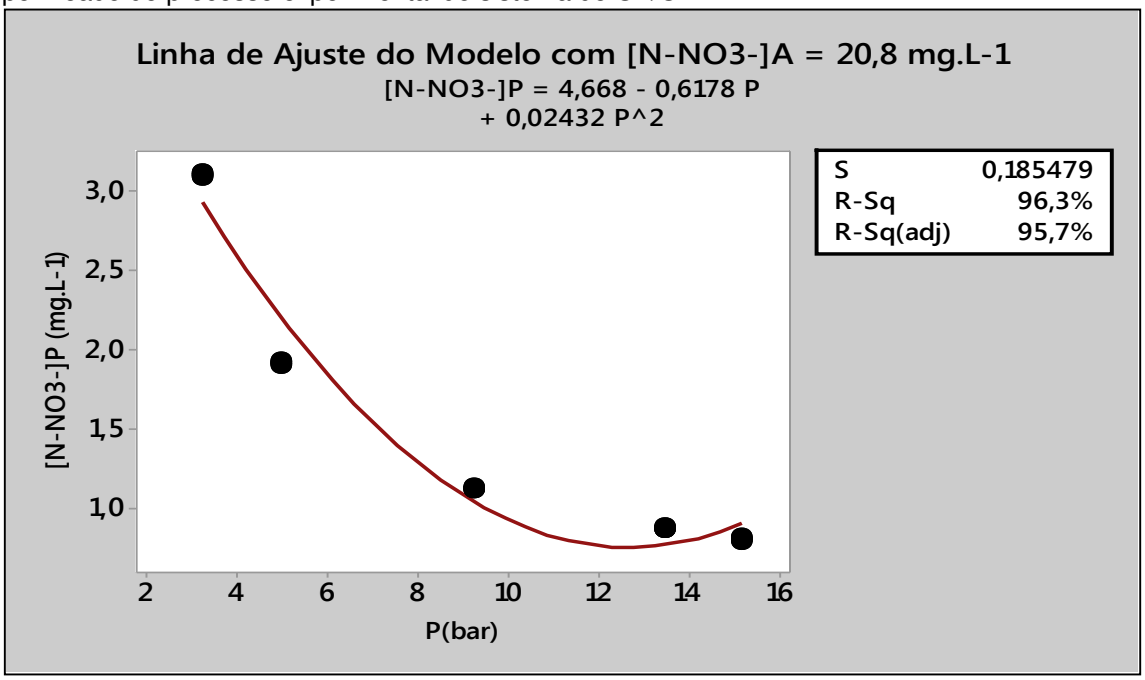
LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Neste processo de simulação com água de abastecimento realizado no sistema de membrana UF/OI, o modelo encontrado em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, obteve coeficiente de determinação (R^2) igual de 95,7% e o R^2_{Max} foi de 96,3%.

Considerando o valor de $\mathbf{F_{Cal}}$, é maior que o valor $\mathbf{F_{Tab}\ (1/12) = 4,75}$ mostrando houver efeito significativo na resposta, podendo-se afirmar que os fatores estudados influenciam, significativamente, em relação à redução concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema UF/OI.

A Figura 37 apresenta o comportamento da linha de ajuste do modelo (Equação 4.10) em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ na simulação da água de abastecimento com adição de nitrato.

Figura 37. Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do N-NO_3^- no permeado do processo experimental do sistema de UF/OI.



Analisando a Figura 37, em que a resposta em termos de redução da concentração do N-NO_3^- no permeado do sistema UF/OI se ajusta ao modelo (Equação 4.10), o qual pode explicar no máximo 96,3% referentes aos resultados. Observa-se que as pressões de operação mais elevadas do sistema de membranas apresentam todos os valores dos resultados abaixo do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$). Os resultados obtidos mostram a eficiência do sistema UF/OI em relação à redução da concentração do N-NO_3^-, neste processo de simulação.

4.3.5 Processo experimental no sistema UF/OI com água abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato

O processo experimental com o sistema de membranas UF/OI, os experimentos realizados foram monitorados em condições de operação do sistema de membranas de UF/OI com uma temperatura média de T = 32ºC e o pH = 7,56 no tanque de alimentação com capacidade de 1000 L, os valores se encontram no Apêndice E.

Os resultados obtidos neste processo experimental foram aplicados no *software* (MINITAB® a versão 17.0) para análise da ANOVA de variância.

A Tabela 55 apresenta os resultados obtidos em relação às concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ no permeado no processo experimental.

Tabela 55. Dados obtidos da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do permeado e da taxa de rejeição a partir dos resultados das concentrações de alimentação e pressão de operação do sistema UF/OI.

TRATAMENTOS	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$)	TR (%)
T_1	20,80	3,24	4,20	79,81
T_2	20,80	3,24	4,60	77,88
T_3	20,80	3,24	4,80	76,92
T_4	20,80	5,00	3,50	83,17
T_5	20,80	5,00	3,80	81,73
T_6	20,80	5,00	3,90	81,25
T_7	20,80	9,25	1,80	91,35
T_8	20,80	9,25	2,20	89,23
T_9	20,80	9,25	2,50	87,98
T_{10}	20,80	13,50	1,90	90,87
T_{11}	20,80	13,50	2,00	90,38
T_{12}	20,80	13,50	2,30	88,94
T_{13}	20,80	15,20	1,50	92,79
T_{14}	20,80	15,20	1,80	91,35
T_{15}	20,80	15,20	1,90	90,87

Legenda: TR% – Taxa de rejeição; $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do permeado.

Pode-se observar que em todos os tratamentos ocorridos neste processo experimental, seus resultados, em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$ ficaram abaixo do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$), podendo-se observar na Tabela 56.

KIN *et al* (2007) testaram algumas membrana de osmose (CPA2, LFC1, e ESPA1) para o tratamento de alta concentração de nitrato de águas residuais da indústria alcançando uma variação na taxa de rejeição de 90,0% a 99,0% em termos de concentração do $N\text{-}NO_3^-$; já o presente trabalho foi realizado com um sistema de membranas UF/OI, que apresentou uma taxa de variação com rejeição entre 76,92% a 92,74% em termos de concentração de $N\text{-}NO_3^-$, indicado na Tabela 55.

Pode-se observar que alguns valores estão dentro da faixa de rejeição do estudo de KIN *et al* (2007), mostrando que o sistema UF/OI apresenta boa eficiência na remoção da concentração do nitrato.

A Tabela 56 mostra os coeficientes do modelo obtido para a redução do $N\text{-}NO_3^-$ na simulação obtida em relação à água doce.

Tabela 56. Análise dos testes de significância dos coeficientes do modelo matemático gerado no processo experimental para à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Termo	Coeficiente	Valor F	Valor p	Significância (α = 0,05)
$\beta_{0\ (média)}$	6,4810	77,09	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_1}_{\ (P)}$	-0,6824	77,09	0,000	Sig.
$\boldsymbol{\beta_2}_{\ (P)^2}$	0,0249	20,01	0,001	Sig.

LEGENDA: P – Pressão de operação; Sig. – Significativo; N-Sig – Não Significativo; Valor p: ≤ 0,05; α = Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os dados apresentados na Tabela 56 por meio do processo de experimental ocorrido mostram que houve efeito significativo no nível de 5,0% de probabilidade segundo o *software*, para o fator percentual na redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, ou seja, assegurando a significância dos resultados com 95% de confiança para a variável resposta.

Observando os valores de $\mathbf{F_{Cal}}$, foram maiores que o valor $\mathbf{F_{Tab}}$ **(1/12) = 4,75** mostrando que houve efeito significativo na resposta, podendo afirmar que os fatores estudadas influenciam significativamente em relação à redução concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema UF/OI.

Determinou-se um modelo matemático que descreve satisfatoriamente os dados representados pela Equação 4.11, em que o modelo mostra um resultado em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema de membranas UF/OI.

$$\mathbf{[N\text{-}NO_3^-]_P = 6,481 - 0,6824P + 0,02498P^2} \qquad \mathbf{(4.11)}$$

O modelo encontrado pelo *software* MINITAB@ versão17 neste processo experimental é uma regressão quadrática, em que a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ foi constante e ocorreu a variação da pressão de operação do sistema UF/OI.

RAZI *et al* (2015) estudaram um sistema de membranas poliméricas do tipo nanofiltração seguido de osmose para remoção do íon nitrato em águas com produção de baixa salinidade, que não gerou nenhum modelo matemático.

No referido trabalho foi usado um sistema de membranas poliméricas UF/OI com o intuito de reduzir a concentração do $N\text{-}NO_3^-$, determinando-se um modelo matemático que possibilita determinar à pressão de operação a determinada concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em que possa ser encontrada no meio aquoso. A Tabela 57 apresenta a análise de variância à ANOVA em relação aos resultados da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 57. Análise de variância (ANOVA) para os valores do sistema UF/OI.

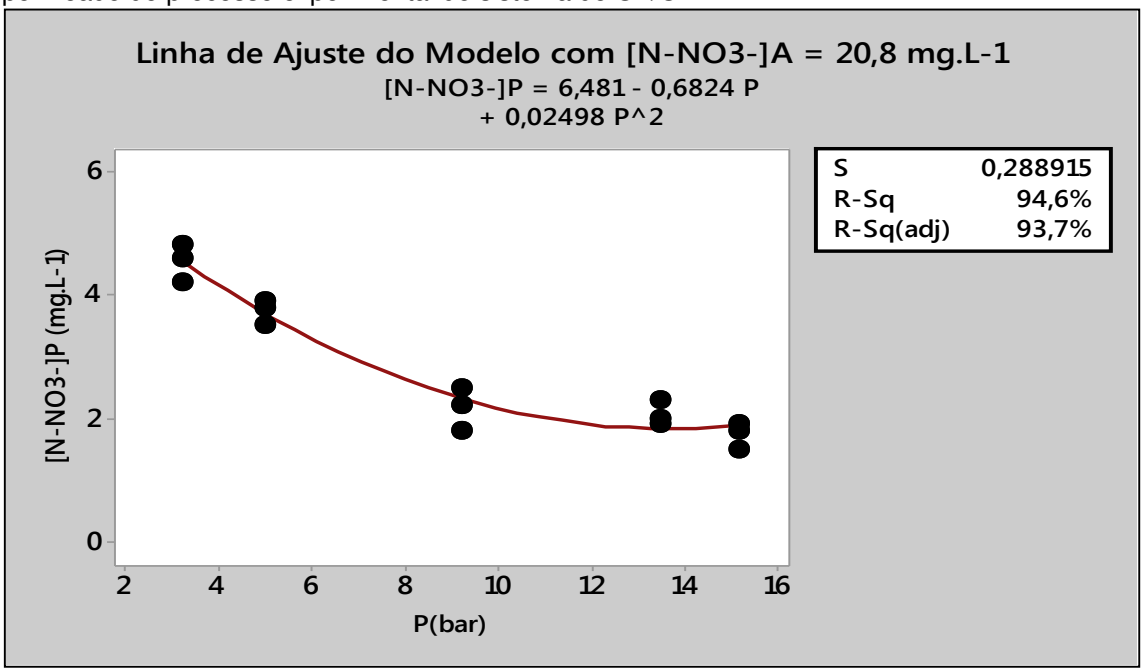
Fonte	G.L.	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor-F	Valor-P
Regressão	2	17,5157	8,75784	104,92	0,000
P(bar)	1	15,8452	15,8452	77,09	0,000
$P(bar)^2$	1	1,6705	1,6705	20,01	0,001
Puro Erro	12	1,0017	0,08347		
Total	14	18,5173			
R^2 = 93,7%	**R^2_{Max}= 94,6%**	**R = 0,973**			

LEGENDA: $N\text{-}NO_3^-$ – Concentração do nitrogênio em nitrato da alimentação; P – Pressão de operação; G.L – Grau de liberdade; α – Nível de significância. Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A análise da variância (ANOVA) foi utilizada para auxiliar na identificação das variáveis que exerceram maior influência sobre o desempenho do processo experimental com o sistema de membranas UF/OI.

Observando a análise dos dados da ANOVA, observa-se, na Tabela 58, que os fatores estudados influenciam significativamente na resposta e o coeficiente de determinação R^2 de 93,7% dos dados e explicado a uma variância máxima explicável de 94,6%; portanto, a Figura 38 apresenta o comportamento da resposta em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ através da linha de ajuste do modelo (Equação 4.11).

Figura 38. Mostra o ajuste do modelo em relação à resposta da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do processo experimental do sistema de UF/OI.



Analisando a Figura 38, a resposta em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do sistema UF/OI se ajusta satisfatoriamente a linha de juste do modelo (Equação 4.11) encontrado, que pode explicar no máximo 94,6% referentes aos resultados, da mesma forma encontrada na simulação, as pressões de operação mais elevadas do sistema de membranas apresentam também todos os valores abaixo do valor máximo permissível (10,0 $mg.L^{-1}$).

Pode-se observar na Figura 38 que para cada pressão obteve três pontos equidistantes, mostrando que as análises físico-químicas realisada em triplicata e os valores não ficaram tão próximo, embora que nos outros ensaios realisado e estudados anteriormente apresentaram os valores bem próximos, e por isso teve um pouco de dispersão dos pontos.

Observa-se que o sistema de membranas UF/OI por meio do processo de simulação com no processo experimental obteve uma variação da taxa de rejeição bem parecida em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ mostrando que, experimentalmente, o sistema UF/OI apresentou bons resultados em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ com água

salobra. O comportamento do sistema UF/OI em relação à rejeição dos outros sais foi coletada uma amostra do permeado a uma condição física da pressão de operação, por exemplo, P = 9,25 bar no qual foi realizada análise físico-química e o valor do TDS no permeado foi de 44,1 $mg.L^{-1}$ que é bom resultado em relação à potabilidade. A análise completa se encontra no Apêndice C.

4.3.6 Comparação dos sistemas MF/NF e UF/OI com água de abastecimento da rede do LABDES com adição de nitrato

Os sistemas de membranas poliméricos estudados neste trabalho mostraram boa eficiência em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, pode-se observar por meio de análise das taxas de rejeição o quão os sistemas podem reduzir a concentração do nitrato em relação à água de abastecimento com adição de nitrato.

As Tabelas 58 e 59 mostram as taxas de rejeição de cada sistema em referência à redução da concentração do nitrato.

Tabela 58. A média da taxa de rejeição do processo de simulação no sistema MF/NF.

P (bar)	REPETIÇÕES	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ SIM.	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ EXP.	TR% SIM.	TR% EXP.
1,50	3	20,80	15,31	19,13	26,39	8,03
2,00	3	20,80	13,52	17,31	35,00	16,78
3,20	3	20,80	9,31	11,81	55,24	43,22
4,35	3	20,80	8,32	9,46	60,00	54,52
4,84	3	20,80	7,71	8,84	62,93	57,50

Legenda: SIM. – Processo simulação usado no sistema; EXP. – Processo experimental usado no sistema e TR% – Taxa de Rejeição.

Tabela 59. A média da taxa de rejeição do processo de simulação no sistema UF/OI.

P (bar)	REPETIÇÕES	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ SIM.	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ EXP.	TR% SIM.	TR% EXP.
3,24	3	20,80	3,10	4,60	85,10	78,22
5,00	3	20,80	1,91	3,73	91,00	82,10
9,25	3	20,80	1,12	2,17	94,62	89,58
13,50	3	20,80	0,87	2,07	95,82	90,04
15,20	3	20,80	0,80	1,73	96,15	91,68

Legenda: SIM. – Processo simulação usado no sistema; EXP. – Processo experimental usado no sistema e TR% – Taxa de Rejeição.

Analisando as Tabelas 58 e 59 em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ quanto à água de abastecimento com adição de nitrato, o sistema apresentou o melhor desempenho dos resultados do sistema de membranas UF/OI, mostrando as melhores taxas de rejeição. Os fluxos produzidos por esses sistemas podem ser observados nas Figuras 39 e 40, que pertencem respectivamente, ao sistema de membranas MF/NF e UF/OI. Os valores referentes aos fluxos se encontram nos Apêndices F e G, respectivamente.

Figura 39. Comportamento do fluxo no processo experimental ocorrido no sistema de membranas MF/NF.

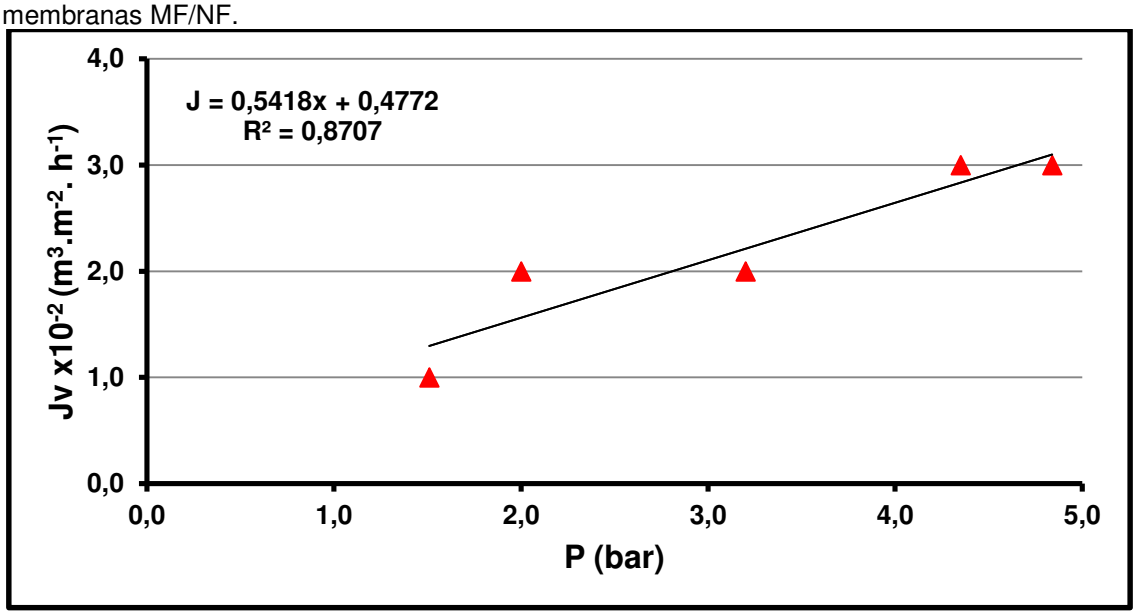
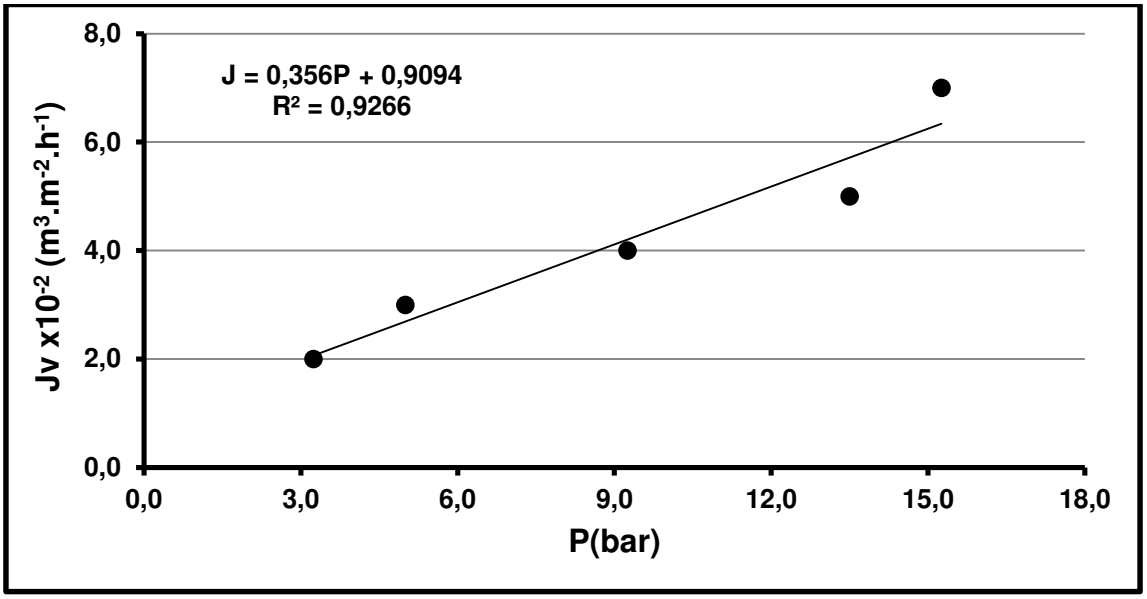


Figura 40. Comportamento do fluxo no processo experimental ocorrido no sistema de membranas UF/OI.



Em relação aos fluxos dos sistemas MF/NF e UF/OI, verificou-se que apresentaram o comportamento ocorrido na água doce, já estudada, o fluxo aumentou com o aumento da pressão de operação dos sistemas podendo-se observar, nas Figuras 39 e 40. Em seu estudo, GARCIA *et al* (2006) utilizaram quatro membranas de nanofiltração (NF, NF90, OPMN-P e K-OPMN) em solução de nitrato preparado com água de osmótica (2mS/cm) com adição $NaNO_3$ obtendo um intervalo de concentração entre 20 a 300 ppm, em que o seu maior fluxo obtido foi de 0,015 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$.

O maior fluxo obtido pelo sistema de membrana MF/NF para a água de abastecimento com adição de nitrato foi de 0,03 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$ obtendo o mesmo valor adquirido quando se estudou o comportamento do sistema em relação à água doce, quase três vezes maior do que o estudo de GARCIA *et al* (2006), já no sistema de membranas UF/OI o maior fluxo obtido foi de 0,07 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$, obteve-se, também, o mesmo valor do fluxo obtido na água doce, considerando que os sistemas de membranas (MF/NF e UF/OI) obtiveram bons resultados em relação ao fluxo, o qual mostra a eficiência desses sistemas, em termos de fluxo no permeado.

Nos próximos itens será estudado o comportamento do sistema de membranas UF/OI proposto por este trabalho em relação à água salobra oriunda da Localidade de Uruçu pertencente ao Município de São João do Cariri, no Estado da Paraíba.

4.3.7 Analise do desempenho UF/OI com água do poço da localidade de Uruçu

A água salobra foi coletada do poço tubular na localidade de Uruçu da Cidade de São João do Cariri PB, e feita uma análise física química, conforme mostra no Apêndice B.

Considerando que o *software* ROSA@ versão 7.2 da Filmtec pode mostrar a melhor pressão de operação em função da pressão osmótica do meio aquoso, esta foi usada para ajustar experimentalmente o sistema de membrana UF/OI para realizar os experimentos com água salobra proveniente do poço de Uruçu com adicionamento de nitrato de sódio, conforme mencionado anteriormente.

Para isso foi realizado uma simulação com a análise físico química da água poço, contendo a maior concentração de $N\text{-}NO_3^-$ do planejamento experimental no valor de 20,8 mg/L. De acordo com a simulação (Anexo C) a pressão calculada foi de 8,2 bar, a qual se encontra dentro da faixa do planejamento experimental e que de acordo com o processo de simulação não apresentou nenhum tipo de problema nos resultados. Para isso foi tomada como a pressão como base para realizar os experimentos, conforme mostra os resultados da Tabela 61. A Tabela 60 mostra os resultados das concentrações do permeados das simulações e dos experimentos realizados, ambos realizados sob a pressão de 8,2 bar, na faixa de concentração de $N\text{-}NO_3^-$ que se encontram dentro do planejamento experimental.

Tabela 60. Resultados da concentração da alimentação de $N\text{-}NO_3^-$ do sistema UF/OI, do permeado simulado, do experimental e taxa de rejeição experimental de $N\text{-}NO_3^-$, sob uma pressão de 8,2 bar.

$[N\text{-}NO_3^-]_A$ (mg.L^{-1})	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ Sim. (mg.L^{-1})	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ Exp. (mg.L^{-1})	TR_{Exp}.%
5,10	0,78	1,80	64,71
10,10	1,40	2,60	74,25
15,10	2,01	3,20	78,80
20,10	2,61	3,40	83,08

Legenda: $[N\text{-}NO_3^-]_A$ – Concentração da Alimentação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do Permeado da simulação; $[N\text{-}NO_3^-]_P$ – Concentração do Permeado experimental; TR_{Exp}.% – Taxa de Rejeição.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 60, observa-se que o sistema de UF/OI foi bastante eficiente dentro da faixa do planejamento experimental, mesmo para os valores acima de 10,0 $mg.L^{-1}$ a redução da concentração do permeado experimental foi bastante significativa, conforme mostra as taxa de rejeição experimental.

4.3.8 Analise dos desempenhos dos sistemas MF/NF e UF/OI com as águas estudadas com nitrato

Os sistemas de membranas MF/NF e UF/OI estudados neste trabalho mostraram uma boa eficiência em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ nas águas estudadas, onde se pode observar, por meio das análises das taxas de rejeição o quão cada sistema pode reduzir a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em relação a amostra de água estudada com adição de nitrato.

Onde se pode observar nas Tabelas 61 e 62 através das taxas de rejeições o desempenho de cada sistema de membranas em relação e redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em cada amostra de água estudada com as suas seguintes concentrações de $N\text{-}NO_3^-$.

Tabela 61. Resultados da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema MF/NF em termos de taxas de rejeição em todas as águas estudas com $N\text{-}NO_3^-$.

Sistema MF/NF	STD ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	MÉDIA DA TAXA DE REJEIÇÂO (TR%)		
			Experimentos	Simulação	Experimental
Água doce P(1,5 - 4,8)bar	197,3	20,8	15	51,50%	47,30%
Água de abastecimento P(1,5 - 4,8)bar	877,5	20,8	15	47,57%	36,02%
Água de Uruçu P= 4,0 bar	2240,2	20,0	1	35,14%	34,00%

Tabela 62. Resultados da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no sistema UF/OI em termos de taxas de rejeição em todas as águas estudas com $N\text{-}NO_3^-$.

Sistema UF/OI	STD ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	MÉDIA DA TAXA DE REJEIÇÂO (TR%)		
			Experimentos	Simulação	Experimental
Água doce P(3,2 -15,3)bar	197,3	20,8	15	95,67%	89,35%
Água de abastecimento P(3,2 -15,3)bar	877,5	20,8	15	92,50%	86,30%
Água de Uruçu P= 8,2 bar	2240,2	5, 0 a 20,0	4	86,14%	75,21%

Avaliando as Tabelas 61 e 62 em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ quanto às águas estudadas com adição de nitrato tanto no processo de simulação com experimental em termos de taxas de rejeição, o sistema UF/OI apresentou o melhor desempenho nos resultados, mostrando as melhores taxas de rejeição. Onde se pode observar que o sistema MF/NF obteve os melhores desempenhos em águas com salinidades baixas em termos de STD, o qual mostra os resultados na Tabela 61.

De acordo com os resultados obtidos nas Tabelas 61 e 62 o sistema MF/NF é adequado para redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em águas de baixas salinidades com concentração de 20,8 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$ no campo para obter uma água de potabilidade adequada de acordo com a resolução 2914/2011 do Ministério da Saúde. Já o sistema UF/OI é apropriado para uso da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ em águas com salinidades elevadas com uma concentração de 20,8 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$ no campo para obter uma água de boa potabilidade segundo a resolução 2914/2011.

4.4 ANÁLISES DE CONFIABILIDADE DAS MODELAGENS DOS PROCESSOS

As análises de confiabilidade das modelagens dos processos foram realizadas, através do *software* EXCEL. A confiabilidade dos valores previstos pelos modelos associados à descrição dos valores experimentais, em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ nos permeados obtidos pelos sistemas de membranas de MF/NF e UF/OI.

4.4.1 Confiabilidade das modelagens dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI em relação à solução de nitrato

Os resultados apresentados nesta sessão se referem à análise de confiabilidade dos modelos encontrados nas Equações 7 e 9 (Itens 4.1.2 e 4.14), através dos dados experimentais, pertencentes aos resultados da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ nos permeados, obtidos pelos sistemas de membranas em relação à solução de nitrato; pode-se observar essas análises de confiabilidade através das Figuras 41 e 42.

Figura 41. Comportamento da confiabilidade dos valores estimados do modelo em relação aos valores experimentais da concentração do permeado no sistema MF/NF na solução de nitrato.

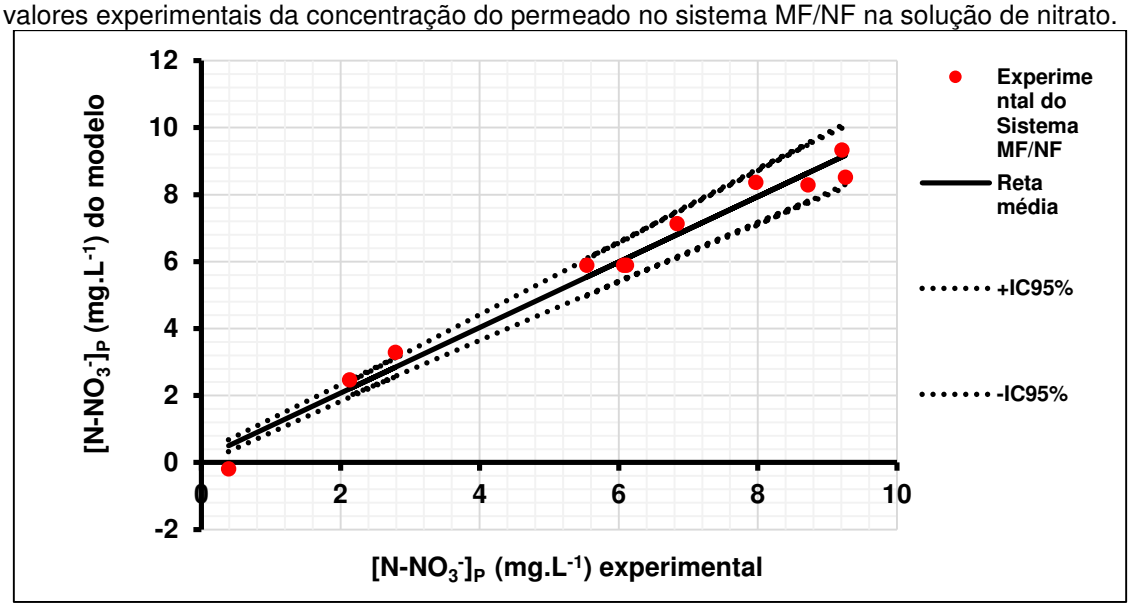
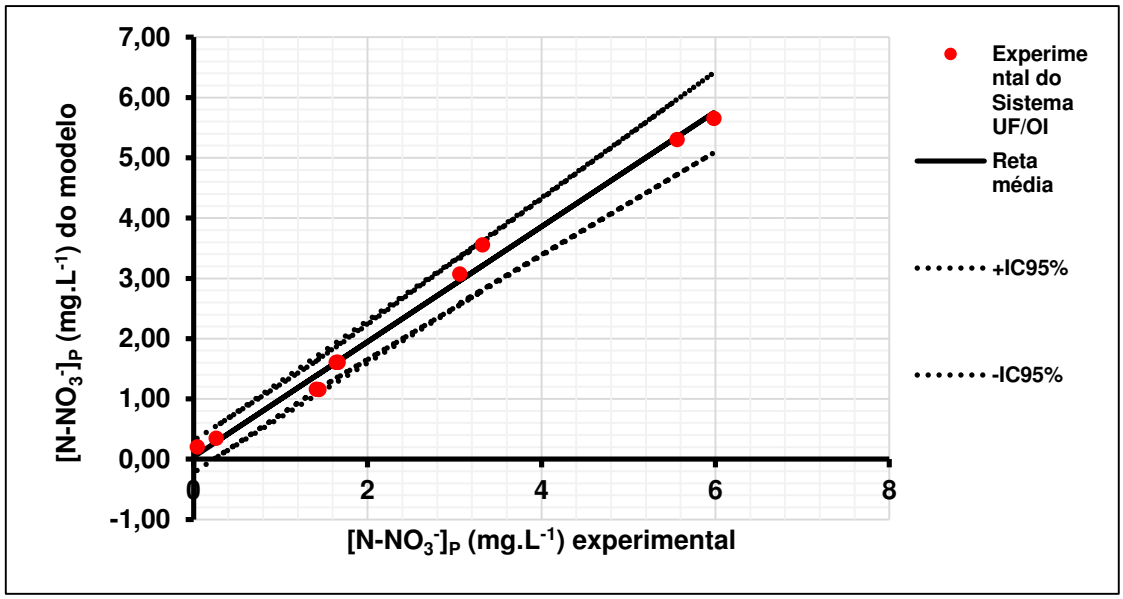


Figura 42. Comportamento da confiabilidade dos valores estimados do modelo em relação aos valores experimentais da concentração do permeado no sistema UF/OI na solução de nitrato.



As Figuras 41 e 42 mostram que os valores experimentais e os valores previstos, pelos modelos associados às respostas em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ nos permeados de cada sistema de membranas, mostrando que os valores estão dentro da região de confiabilidade.

Boa concordância foi obtida entre esses valores, os quais ficaram bem próximos da reta média, estando dentro da região de confiabilidade de 95,0%. Neste processo de redução os modelos da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI apresentam cofiabilidade de 95,0% para a variável resposta. Os valores que geraram estas figuras de modelagens estão no Apêndice I.

4.4.2 Confiabilidade das modelagens dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI em relação à água doce

Nesta sessão é mostrada a análise de confiabilidade dos modelos encontrados nas encontrados nas Equações 11 e 13 (Itens 4.2.2 e 4.2.4), através dos dados experimentais pertencentes aos resultados da redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ nos permeados obtidos pelos sistemas de membranas

em relação à água doce. Pode-se observar essas análises de confiabilidade através das Figuras 43 e 44.

Figura 43. Comportamento da confiabilidade dos valores estimados do modelo em relação aos valores experimentais da concentração do permeado no sistema MF/NF na água doce.

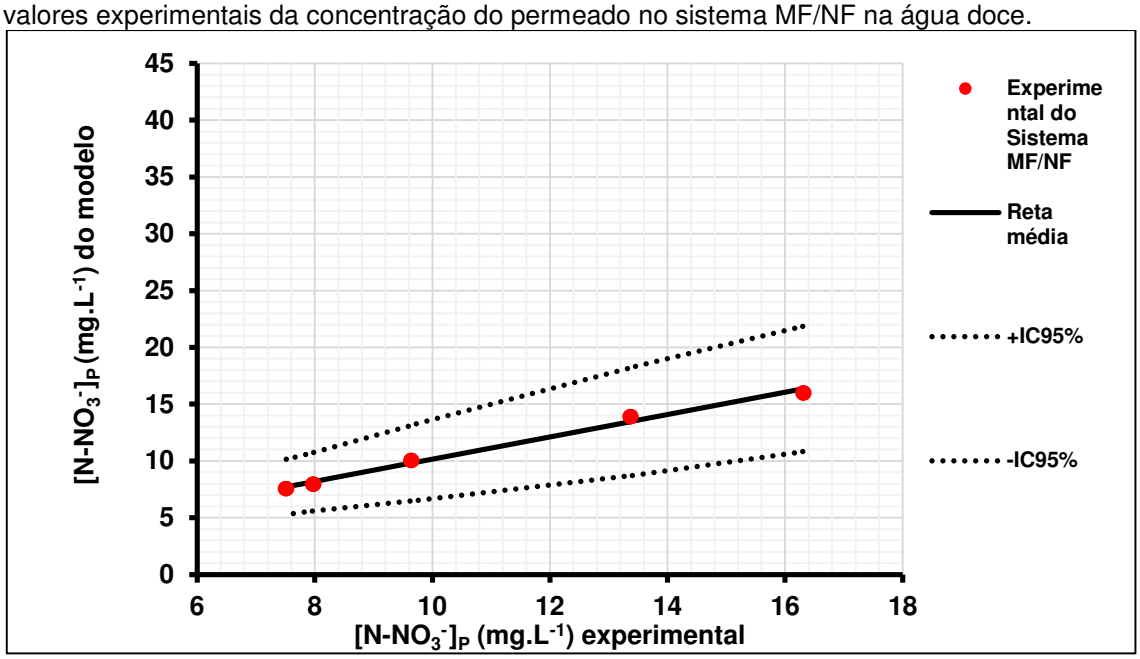
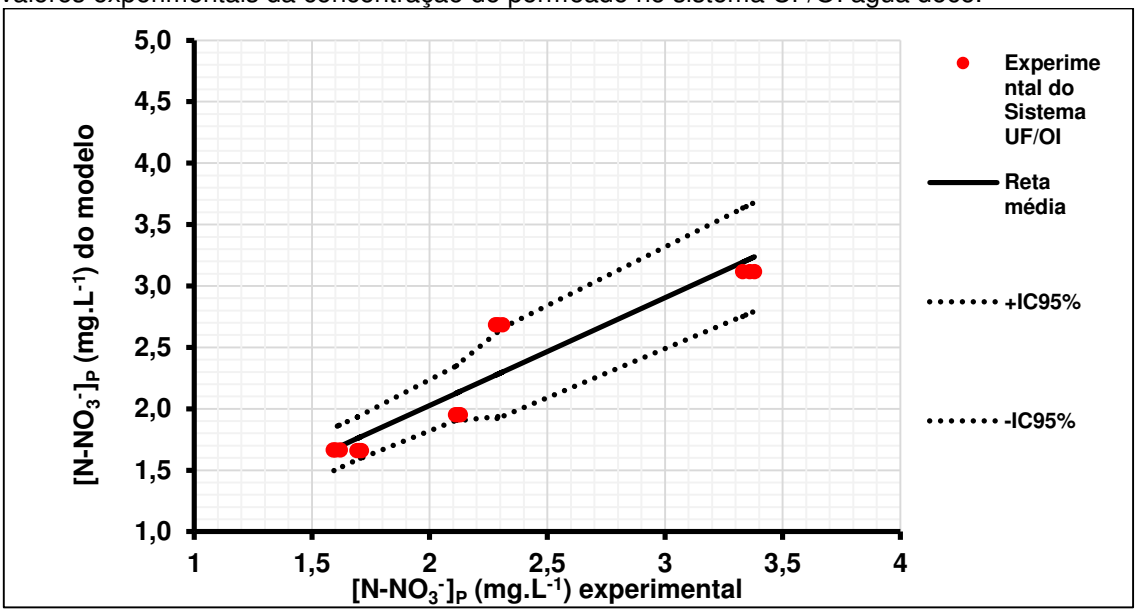


Figura 44. Comportamento da confiabilidade dos valores estimados do modelo em relação aos valores experimentais da concentração do permeado no sistema UF/OI água doce.



As Figuras 43 e 44 mostram os valores experimentais e os valores previstos pelos modelos associados à resposta em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ nos permeados de cada sistema de membranas.

Observou-se que foi obtido o mesmo índice de confiabilidade de 95% do comportamento do caso anterior com a solução de nitrato.

A Figura 44 mostra uma pequena distorção na região de confiabilidade, a qual pode ter sido devida, ao fato de dois pontos terem ficado um pouco afastados da reta média. Estes pontos, ainda se encontram estão dentro da região de confiabilidade de 95,0%. Os dados dessa modelagem se encontram no Apêndice I.

4.4.3 Confiabilidade das modelagens dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI em relação à água de abastecimento com adição de nitrato

A análise de confiabilidade para o referido sistema com água de abastecimento com adição de nitrato são referentes aos modelos obtidos das Equações 15 e 17 (Itens 4.3.2 e 4.3.4), conforme mostram as Figuras 45 e 46.

Figura 45. Comportamento da confiabilidade dos valores estimados do modelo em relação aos valores experimentais da concentração do permeado no sistema MF/NF na água de abastecimento com adição de nitrato.

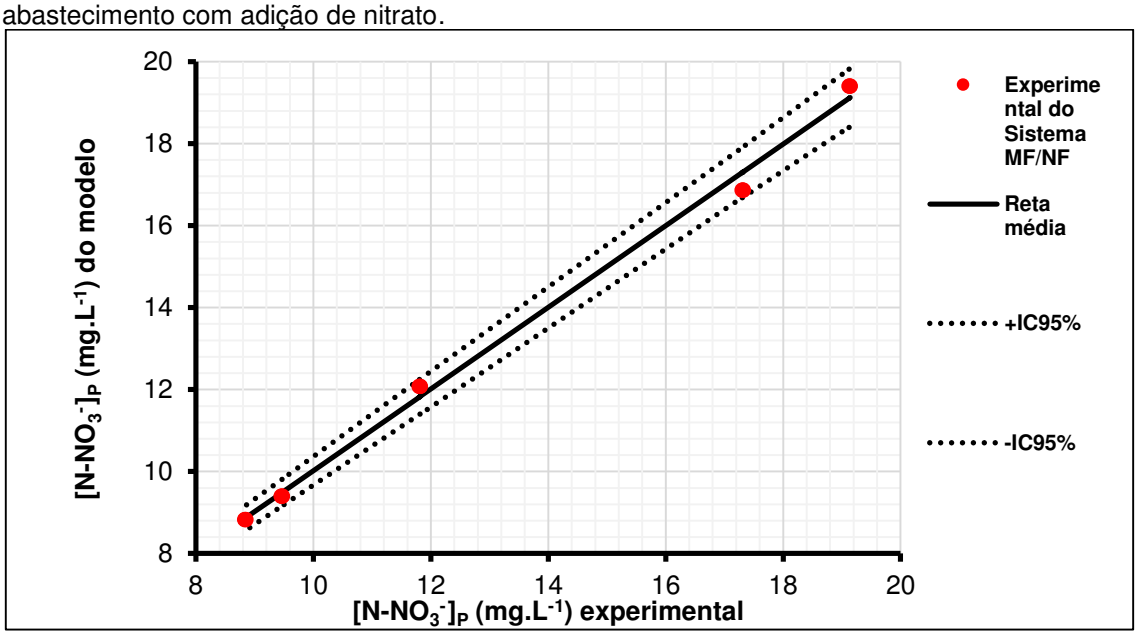
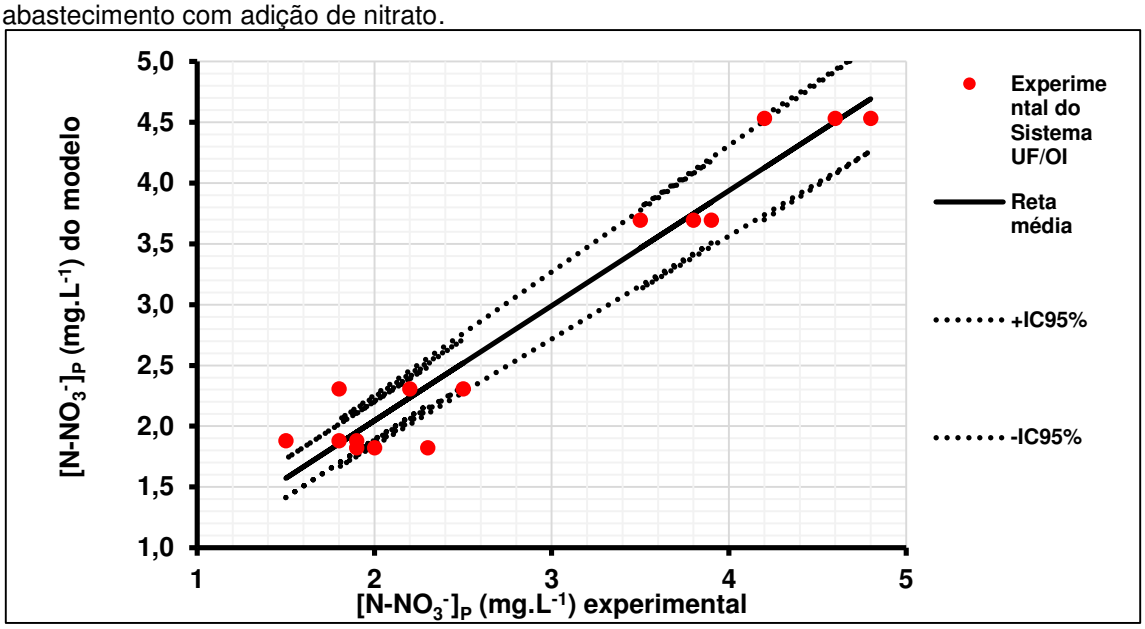


Figura 46. Comportamento da confiabilidade dos valores estimados do modelo em relação aos valores experimentais da concentração do permeado no sistema UF/OI na água de abastecimento com adição de nitrato.



Verificou-se que as Figuras 45 e 46 apresentam os valores experimentais e os valores previstos pelos modelos associados às respostas, em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$, nos permeados de cada sistema de membranas.

A Figura 46 mostra que alguns pontos ficaram um pouco fora da região de confiabilidade; esta fuga de pontos da região pode ter ocorrido em função dos valores experimentais pelas análises analíticas mas, mesmo assim, esses pontos ficaram próximos da região de confiabilidade de 95,0% não tiveram grande distorção.

Por outro lado a maioria dos valores está dentro da região de confiabilidade, mostrando que há 95,0% de confiança nos resultados; os valores que determinaram estes gráficos de modelagens estão no Apêndice I.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5. CONCLUSÕES

As conclusões do presente trabalho concernem aos resultados obtidos com os sistemas de MF/NF e UF/OI em função das concentrações do íon nitrato $N\text{-}NO_3^-$, para os seguintes meios:

- *Soluções de nitrato;*
- *Água doce de poço com $N\text{-}NO_3^-$ igual a 20,8 $mg.L^{-1}$;*
- *Águas de abastecimento com adição de $N\text{-}N0_3^-$ igual a 20,8 $mg.L^{-1}$;*
- *Água salobra de poço com adição de $N\text{-}NO_3^{-.1}$;*
- *Desempenho dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI.*

❖ *Solução de nitrato*

- Os dados obtidos dos sistemas de MF/NF e UF/OI, a partir dos processos simulados, foram bastante significativos para o desenvolvimento desse trabalho. Foi observado que as concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ dos seus permeados, ficaram próximos aos valores obtidos experimentalmente. Os dois únicos que ficaram acima de 10,0 $mg.L^{-1}$ foram para o sistema MF/NF, para as concentrações de 20,0 $mg.L^{-1}$ e 23,3 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$, sob as pressões de 2,0 bar e 3,2 bar. Conclui-se que o sistema de MF/NF, operando a baixa pressão para concentrações acima de 20,0 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$, pode comprometer a qualidade do permeado.
- Levando em consideração o melhor desempenho em função da taxa de rejeição dos sistemas de membranas MF/NF e UF/OI nos processos experimentais na solução de nitrato, em termos de redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ das soluções de nitrato de 12,0 $mg.L^{-1}$ de $N\text{-}NO_3^-$ observou-se que os sistemas MF/NF e UF/OI, operando sob a mesma pressão de 3,2 bar, obtiveram suas concentrações nos

permeados de 5,91 $mg.L^{-1}$ e 3,32 $mg.L^{-1}$ para as respectivas taxas de rejeições de 49,22% e 72,33%;

- Observou-se, ainda que a taxa de rejeição do sistema de membranas MF/NF foi de 65,84 % e para o sistema UF/OI foi de 76,18% em relação à redução da concentração do nitrato, para a mesma concentração de $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação de 23,3 $mg.L^{-1}$;
- Para as baixas concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ na alimentação dos sistemas MF/NF e UF/OI observou-se que as taxas de rejeições foram mais significativas em termos de redução do nitrato para o sistema UF/OI;
- Obedecendo ao planejamento experimental atribuído aos dois sistemas estudados, conclui-se que as concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ em seus permeados, apresentaram valores abaixo de 10,0 $mg.L^{-1}$, o qual se enquadra dentro da Portaria 2914/2011 da Legislação Brasileira;
- Apesar de que o sistema de UF/OI ter apresentado melhores resultados na redução da concentração de $N\text{-}NO_3^-$ para todos os casos estudados com a solução de nitrato, observou-se que o sistema MF/NF também é apto a ofertar permeados de qualidade para baixas pressões de operação.

Água doce de poço

- O desempenho do sistema MF/NF com processos de simulação e experimentais com água doce de poço, em função da taxa de rejeição da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ com 20,8 $mg.L^{-1}$ na alimentação do sistema, conclui-se que os melhores resultados foram obtidos na faixa de pressão 3,20 bar a 4,84 bar, onde a taxa de rejeição foi de: 64,63% para o processo simulado e 63,89% para os dados obtidos experimentalmente;
- Os resultados em termos de taxa de rejeição da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ nos processos de simulação e experimentais com a água doce de poço para o sistema UF/OI foram as seguintes: 98,83% para uma pressão de

9,25 bar para o processo simulado e 92,29% sob uma pressão de 15,30 bar experimentalmente;

- Analisando os desempenhos em termos da taxa de rejeição da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ dos sistemas MF/NF e UF/OI em relação aos processos experimentais, sob a mesma a pressão de 3,2 bar para a concentração de 20,8 $mg.L^{-1}$ mostram que o sistema UF/OI apresentou um percentual de 63,97% acima da taxa de rejeição de nitrato do sistema MF/NF;
- De acordo com os comportamentos dos fluxos para os sistemas MF/NF e UF/OI em função das pressões de operação de cada sistema com água doce, observou-se que os fluxos foram diretamente proporcionais às pressões, todavia o sistema de UF/OI apresentou maiores fluxos do que do sistema de MF/NF devido às características do tipo de cada elemento de membrana;

❖ *Água de abastecimento da rede do LABDES/UFCG com adição de nitrato (20,8 $mg.L^{-1}$)*

- Os resultados obtidos a partir das simulações para o sistema MF/NF e comparados com os experimentais, mostram que a faixa de pressão de 3,2 bar a 4,84 bar a taxa de rejeição foi de 63,46% para o processo simulado e 4,35 bar a 4,84 bar a taxa de rejeição foi de 57,55% para o experimental para ambos os casos a concentração de $N\text{-}NO_3^-$ no permeado ficaram abaixo de 10,0 $mg.L^{-1}$;
- O sistema UF/OI apresentou uma taxa de rejeição elevada em relação ao sistema MF/NF em função da pressão de operação de 15,3 bar. O valor da taxa de rejeição obtido a partir da simulação foi de 96,2% e 92,29% para o processo experimental;
- Observou-se que a menor pressão de 3,2 bar para o sistema de UF/OI a concentração de $N\text{-}NO_3^-$ foi de 4,53 $mg.L^{-1}$, enquanto que sob a mesma pressão de operação o sistema MF/NF ofereceu um permeado com

concentração de 11,81 mg.L^{-1}. Esse mesmo fato não foi observado quando se tratava de água doce do poço sob a mesma concentração de N-NO_3^-. Isso mostra que a redução de N-NO_3^- de cada sistema, seja ele MF/NF e/ou UF/OI, depende da pressão de operação e do nível da concentração de outros sais presentes na água de alimentação.

❖ *Água salobra de poço com adição de nitrato*

- Para os dois sistemas estudados com água de poço salobra apresentando um STD igual a 2.261 mg.L^{-1} apresentando uma concentração de 20,0 mg.L^{-1} de N-NO_3^- observou-se mais uma vez que a predominância de outros sais presente no meio pode interferir na redução do nitrato em função do tipo de membrana. Os resultados experimentais mostram que a concentração do TDS do permeado do sistema MF/NF foi de 891,4 mg.L^{-1} para uma pressão de 4,0 bar, todavia a concentração de nitrato ficou acima de 10,0 mg.L^{-1}. Esse fato não foi observado para o sistema UF/OI que operou com 8,0 bar apresentando uma concentração de nitrato no permeado abaixo valor máximo permissível da Portaria 2914/11.

❖ *Análises de confiabilidade dos modelos matemáticos*

- Em função dos comportamentos dos dois sistemas de membranas, os perfis das curvas de seus desempenhos foram consolidados através de modelos matemáticos com auxílio de software MINITAB versão 17.0, o qual apresentou um grau de confiabilidade de 95,0% expresso em função dos dados experimentais obtidos pelos os dois sistemas.

❖ *Desempenho dos sistemas MF/NF e UF/OI na redução do N-NO_3^-*

- Os sistemas MF/NF e UF/OI obterão um bom desempenho na redução da concentração do N-NO_3^-, onde o sistema MF/NF obteve o melhor desempenho em águas de baixas salinidades. E o sistema UF/OI apresentou um bom desempenho para todas as amostras de águas estudadas, embora para as águas de baixa salinidades obteve uma extrações de outros sais bastante elevada.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Mostrando a contribuição das pesquisas futuras que permitam a continuação deste trabalho, recomendar as seguintes questões:

- Estudar a remoção do nitrato em função da concentração de outros íons presentes que podem interagir durante o processo
- Desenvolver um sistema de membrana polimérica para remoção de nitrato presente em águas doces para o consumo humano, com o aproveitamento do concentrado para agroindústria;
- Observar o comportamento da redução do $N\text{-}NO_3^-$ com os novos sistemas de membranas do tipo: UF/NF e MF/OI;

6. REFERÊNCIAS

AL-KARAGHOULI, A.A.; KAZMERSKI, L.L. —Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes‖, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 24, pp. 343–356, 2013.

A. Santa fé; JM. Gozálvez-Zafrilla; J.Lora-García. Desempenho de membranas de nanofiltração comercial na remoção de íons nitrato. Dessalinização, Volume 185, Edições 1-3, 2005, Pages 281-287.

A. Santafé-Moros; JM. Gozálvez-Zafrilla, J. Lora-García. Remoção de nitrato de soluções iônicas ternários por uma membrana de nanofiltração apertado. Dessalinização, Volume 204, Edições 1-3, 2007, Pages 63-71.

A. Santafé-Moros; JM. Gozálvez-Zafrilla,. ESTUDO NANOFILTRATION DA INTERAÇÃO ENTRE ÍONS BICARBONATO E NITRATO**.** Dessalinização, Volume 250, Issue 2, 2010, Pages 773–777.

AMARAL, R.A., 2009. Remoção de CO2 e H2S do Gás Natural por Contactores com Membranas. Dissertação de Mestrado, PEQ/COPPE – Rio de Janeiro.

BHATNAGAR, AMIT AND SILLANPÃÃ, MIKA. CHEMICAL ENGINEERING JOURNAl, Volume 168, issue 2, 2011, pages 493-504.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.* 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria nº 2914/11*,12 de dezembro de 2011. 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. Brasília, 2914/11.

BUONOMENNA, M.G. "Nano-enhanced reverse osmosis membranes, *Desalination*," v. 314, pp. 73–88, 2013.

BRIÃO, V. B.; MAGOGA, J; HEMKEMEIER, M.; BRIÃO, E. B.; GIRARDELLI, L.; SBEGHEN, L.; FAVARETTO, D. P. C. Reverse osmosis for desalination of water from the Guarani Aquifer System to produce drinking water in southern Brazil‖, *Desalination*, v. 344, pp. 402–411, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO No 357, nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. Tecnologia japonesa poderá ser usada na dessalinização da água de Noronha. Nov., 2014. Disponível em: <http://www.compesa.com.br/noticias/tecnologia-japonesa-podera-ser-usada-na-dessalinizacao-da-agua-de-noronha>. Acesso em: 28/01/2015.

D. MAJUMDAR, N. GUPTA Poluição por nitratos das águas subterrâneas e problemas de saúde humana associados Ind. J. Environ. Hlth., 42 (2000), pp 28-39.Freire *et al.*, 1998.

CHEW, J.; ZAMANI, F.; AKHONDI, E.; KRANTZ, W.B.; FANE, A.G. Unsteady-state shear strategies to enhance mass-transfer for the implementation of ultrapermeable membranes in reverse osmosis: A review‖, *Desalination*, v. 356, pp. 328–348, 2015.

Garcia, François; Ciceron, Delphine; Saboni, Abdellar; Alexandrova, Silva. Eliminação íons nitrato de água potável por nanofiltração: escolha da membrana. Aseparação e Purificação e Tecnologia, Volume 52, Issue 1, Pages 196-200, 2006.

GALANAKIS, CHARIS M.; GEORGIOS, FOUNTOULIS; VASSILIS, GEKAS. A nanofiltração de água subterrânea salobra utilizando uma membrana de polypiperazina. Dessalinização**,** Volume 286, 2012, Pages 277-284.

GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, G. L. —Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability‖, *Desalination*, v. 309, pp. 197–207, 2013.

HABERT, A. C., BORGES, C. P. e NÓBREGA, R., Processos de separação com membranas, Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química, 2006.

HIRATA, RICARDO C. A. Revista Água e Meio Ambiente Subterrâneo, Ano 6 – nº 38 – Março/Abril 2014. Editora ABAS.

K.A. Karanasios ; IA. Vasiliadou ; S. Pavlou ; DV. Vayenas. Desnitrificação hidrogenotróficas de água potável: uma revisão. Dessalinização**,** Volume 180, Edições 1-3, 2010, páginas 20-37

Kangmin, Chon ; Sung, Hyun Kim ; Jaeweon, Cho . A remoção do *N* - Nitrosamidas em um sistema híbrido biorreator de membrana e de nanofiltração para recuperação de águas residuais municipais. Bioresource Tecnologia**,** Volume 190, 2015, Pages 499-507.

Kim, Y.H.; Pudukadu, M. A. ; Kuppusamy, S.; Perumalsamy, L.; Soon-Jae, Lee; Nag-choul, Choi. Remoção de dois estágios de nitrato de águas subterrâneas utilizando tratamentos biológicos e químicos. Jornal de Biociências e Bioengenharia**,** Volume 104, Issue 2, 2007, Pages 129-134.

MOHAMED, A. SALAM; OLFAT, FAGEEH; SHAEEL, A. AL-THABAITI; ABDULLAH, Y. OBAID . Remoção de íons de nitrato de solução aquosa usando nanopartículas de ferro de valência zero suportado em nanographenes de área superficial elevada. Jornal de Molecular Líquidos**,** Volume 212, 2015, Pages 708-715.

OHLAND, ANDERSON LUIS Membranas de Acetato de Celulose com Nanoestruturas Inorgânicas para Dessalinização de Água por Osmose Inversa/ Anderson Luis Ohland. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

OLIVEIRA, DANIELA ROMÃO de Síntese e caracterização de membranas de poliuretano modificadas por reticulação e por incorporação de nanopartículas de sílica/Daniela Romão de Oliveira. – Rio deJaneiro: UFRJ/COPPE, 2012.

PEÑATE, B.; RODRÍGUEZ, L. G. —Current trends and future prospects in the design of seawater reverse osmosis desalination technology, *Desalination*, v. 284, pp. 1–8, 2012.

PHILIP, E. JAMES ; GARETH, R. WILLIS ; JASON, D. ALLEN ; PAUL, G. WINYARD ; ANDREW, M. JONES . Óxido Nítrico (Um exame crítico dos Efeitos Ergogênicos/terapêuticas de Suplementação para aumentar a biodisponibilidade de óxido nítrico). Volume 48, agosto de 2015, páginas 44-50.

PORTER, M. C., 1990, *Handbook of Industrial Membrane Technology*, Noyes Publications, New York.

PNRH - PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. 2006. Panorama e o Estado dos Recursos Hídricos do Brasil - volume 1. Ministério do Meio Ambiente. Brasília.

RAVANCHI, M. T., KAGHAZCHI, T., KARGARI, A., “Application of membrane separation processes in petrochemical industry: a review”, *Desalination*, v. 235, n.1-3, pp. 199-244, 2009.

Razi, Epsztein; Oded, Nir; Ori, Lahav; Michal, Verde. Remoção de nitrato seletiva de águas subterrâneas utilizando um esquema de filtragem de osmose reversa nanofiltração-híbrido. Diário da Engenharia Química, Volume 279, 2015, Pages 372-378.

RODRIGUES, A.; BRENHA, H. "Dessalinização é alternativa para abastecer nove Estados". Set, 2014.

Romain, Broséus; Cigana, John ; Barbeau, Benoit ; Catherine, Daines-Martinez ; Suty, Hervé . Remoção de sólidos totais dissolvidos, nitratos e íons de amônio de água potável utilizando charge-barreira capacitiva de ionização. Dessalinização**,** Volume 249, Issue 1 , 2009, Pages 217-223.

SE-KEUN, PARQUE ; JAE-HOON, CHOI ; JIANG HU YONG. Avaliar o potencial de crescimento bacteriano em sistema de distribuição modelo de membrana de nanofiltração que recebe água tratada. Dessalinização, Volume 296, 2012.

Silva, S. K; SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE URUÇU – SÃO JOÃO DO CARIRI - PB: ANÁLISES, MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MISTURADOR PARA O USO DO CONCENTRADO. Programa de Pós – Graduação de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER END WASTEWATER, Editer by Leonore S. Clesceri, Arnold E. Greenderg, Andrew D. Eaton, 22th Edition, 2010.

WANG, X., LUO, X., WANG, X. “Study on blends of thermoplastic polyurethane and aliphatic polyester: morphology, rheology, and properties as moisture vapor permeable films” *Polymer Testing* v. 24, pp. 18-24, 2005.

YIFENG, ZHANG; IRINI, ANGELIDAKI. Um novo método para *in situ* remoção de nitrato de águas subterrâneas utilizando submersa célula de dessalinização-desnitrificação microbiana. Pesquisa da Água**.** Vol. 47, 2013, páginas 1827-1836.

ANEXO A

LAUDO TÉCNICO DAS MEMBRANAS DO SISTEMA DE MICROFILTRAÇÃO/NANOFILTRAÇÃO.

- **Membrana Polimérica de Microfiltração.**

Módulo de Microfiltração: Alimentação Lateral

O módulo de microfiltração fabricado pela PAM Membranas Seletivas Ltda. é confeccionado com membranas de alta tecnologia de fabricação própria. Estas são produzidas com rigoroso sistema de qualidade.

A microfiltração é um método eficiente para esterilização de fluidos, pois remove 99,99% dos microorganismos (vírus e bactérias) e sólidos suspensos do fluido a ser processado. O principal mecanismo de separação com membranas de microfiltração é a exclusão por tamanho molecular. A estrutura assimétrica da membrana faz com que moléculas maiores que o poro da membrana sejam rejeitadas pela mesma, enquanto as menores passarão pela membrana permanecendo na corrente de permeado. Por proporcionar uma filtração superficial, as membranas de microfiltração da Pam Membranas Seletivas possuem baixa incrustação e consequentemente alto fluxo, o que permite a fabricação de equipamentos compactos de alta eficiência.

Propriedades Típicas da Membrana

Geometria	Cilíndrica do tipo fibra oca
Material	Polieterimida (PEI)
Camada Seletiva	Externa
Diâmetro Externo (mm)	0,95
Tamanho de Poro (µm)	0,40
Limites de pH	2 – 13

Esquema do Módulo de Microfiltração

Material de Construção	PVC
Conexão	BSP Fêmea de 1/2"
Sentido Filtração	Fora para dentro da Fibra
Pressurização	Carcaça
Pressão de Operação	Depende do fluido a ser tratado
Pressão máxima de operação (kgf/cm²)	5,0
Temperatura máxima de operação (°C)	55

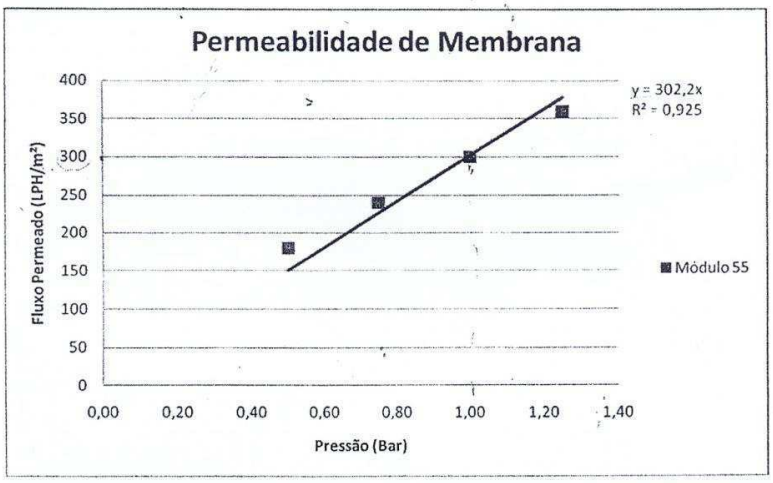
Rua Paulo Emidio Barbosa, 485 QD 6A
Parque Tecnológico Edifício MP, Modulo 1
Ilha do Fundão | Cidade Universitária
Rio de Janeiro | RJ | CEP: 21.941-615
Tel: [21] 3733 1980 | Fax: [21] 2590 4334
pam@pam-membranas.com.br
www.pam-membranas.com.br

Certificado de Qualidade 1115

Propriedades do Módulo:

Identificação	**0055**
Processo	Microfiltração
Comprimento útil (mm)	420
Diâmetro externo (mm)	50
Empacotamento (m^2/m^3)	800
Área de Filtração (m^2)	0,5
Permeabilidade (LPH/m^2.Bar)	

Determinação da Permeabilidade Hidráulica:



Os resultados aqui expressos retratam nossos resultados de ensaios realizados sob condições controladas, utilizando água previamente microfiltrada.

Este documento foi emitido eletronicamente pela garantia da qualidade, portanto não necessita ser assinado.	**Flávio Souza** **Garantia da Qualidade**

Rua Paulo Emídio Barbosa, 485 QD 6A
Parque Tecnológico Edifício MP, Módulo 1
Ilha do Fundão | Cidade Universitária
Rio de Janeiro | RJ | CEP: 21.941-615
Tel: [21] 3733 1980 | Fax: [21] 2590 4334
pam@pam-membranas.com.br
www.pam-membranas.com.br

- **Membrana Polimérica de Nanofiltração (NF90 4040).**

FILMTEC™ Membranes
For more information contact:
info@lenntech.com
www.lenntech.com
Tel. +31-15-261.09.00
Fax. +31-15-261.62.89

FILMTEC™ NF90-4040 Membranes

FILMTEC NF90 Nanofiltration Elements for Commercial Systems

Features

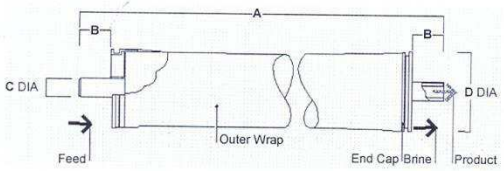
The FILMTEC™ NF90 membrane elements provide high productivity performance while removing a high percentage of salts, nitrate, iron and organic compounds such as pesticides, herbicides and THM precursors. The low net driving pressure of the NF90 membrane allows the removal of these compounds at low operating pressures.

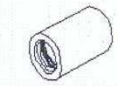
Product Specifications

Product	Part Number	Active Area ft^2 (m^2)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m^3/d)	Stabilized Salt Rejection (%)
NF90-2540	149982	28 (2.6)	70 (4.8)	680 (2.6)	>97.0
NF90-4040	149983	82 (7.6)	70 (4.8)	2,000 (7.6)	>97.0

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm $MgSO_4$, 77°F (25°C) and 15% recovery at the pressure specified above.
2. Permeate flows for individual NF90-2540 elements may vary by -20% / +30%. NF90-4040 individual elements may vary -15% / +50%.
3. Developmental products available for sale.

Figure 1





FilmTec sells coupler part number 89055 for use in multiple element housings. Each coupler includes two 2-210 EPR o-rings, FilmTec part number 86295.

Product	Dimensions – Inches (mm) A	B	C	D
NF90-2540	40.0 (1,016)	1.19 (30)	0.75 (19)	2.4 (61)
NF90-4040	40.0 (1,016)	1.05 (27)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element systems.
2. NF90-2540 has a tape outer wrap. NF90-4040 has a fiberglass outer wrap.

1 inch = 25.4 mm

Operating Limits

• Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
• Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
• Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)
• Maximum Feed Flow Rate - 4040 elements	16 gpm (3.6 m^3/hr)
- 2540 elements	6 gpm (1.4 m^3/hr)
• Maximum Pressure Drop - tape wrapped	13 psig (0.9 bar)
- fiberglassed	15 psig (1.0 bar)
• pH Range, Continuous Operation[a]	2 – 11
• pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.)[b]	1 – 12
• Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
• Free Chlorine Tolerance[c]	<0.1 ppm

[a] Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).
[b] Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010 for NF90.
[c] Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 30 psi (2.1 bar).
- Avoid static permeate-side backpressure at all times.

FILMTEC™ Membranes
For more information about FILMTEC membranes, call the Dow Liquid Separations business:

North America:	1-800-447-4369
Latin America:	(+55) 11-5189-9222
Europe:	(+32) 3-450-2240
Pacific:	+65 6586 7555
Japan:	+81 3 5460 2100
China:	+86 21 2301 8000

http://www.filmtec.com

Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.

™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow

ANEXO B

LAUDOS TÉCNICOS DAS MEMBRANAS DO SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA.

- **Membrana Polimérica de Ultrafiltração.**

Product Information

DOW™ Ultrafiltration Modules
Model SFP-2860 and SFD-2860

Features

The DOW™ Ultrafiltration (UF) modules are made from high strength, hollow fiber membranes that have excellent features and benefits:

- 0.03 µm nominal pore diameter for removal of bacteria, viruses, and particulates including colloids to protect downstream processes such as RO
- PVDF polymeric hollow fibers for high strength and chemical resistance allows long membrane life
- Hydrophilic PVDF fibers for easy cleaning and wettability that help maintain long term performance
- Outside In flow configuration for high tolerance to feed solids that help reduce the need for pretreatment processes
- U-PVC housing, helping to eliminate the need for costly pressure vessels

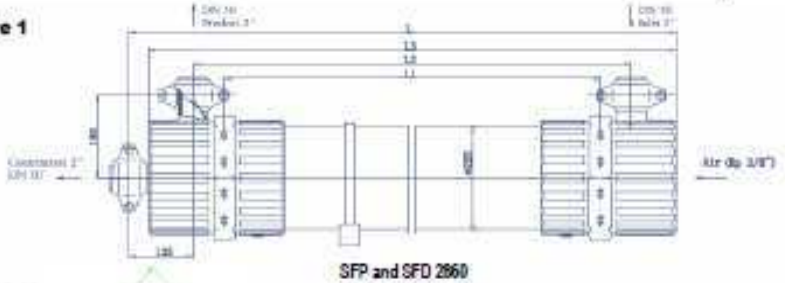
This module is an ideal choice for systems with capacities greater than 50 m³/hr (220 gpm). The larger, 8 inch diameter module offers the highest effective membrane area of the DOW UF modules, which contributes to a more economical membrane system design. The shorter, 60 inch length module offers higher efficiencies over a wider range of feed water conditions compared to longer length modules.

DOW™ Ultrafiltration Modules can be used for a wide variety of treatment applications such as surface water, seawater, industrial wastewaters, and secondary effluent wastewater.

Product Specifications

Model	Type	Part Number	Membrane Area m²	Membrane Area ft²	Module Volume liters	Module Volume gallons	Weight (empty/water filled) kg	Weight (empty/water filled) lbs
SFP-2860	Pretreatment	280933	51	549	35	9.3	46/93	106/183
SFD-2860	NSF/ANSI 61 Drinking Water	324188	51	549	35	9.3	46/93	106/183

Figure 1



SFP and SFD 2860
(8-inch diameter)

Figure 2

Properties	Length				Diameter	Width	
Units	L	L1	L2	L3	D	W1	W2
SI (mm)	1860	1500	1630	1820	225	180	342
US (inch)	73.2	59.1	64.2	71.7	8.9	7.1	13.5

™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow

Operating Parameters

	SI units	US units
Filtrate Flux @ 25°C	40 - 120 l/m²/hr	24 - 70 gfd
Flow Range	2.0 – 6.1 m³/hr	9.2 – 26.7 gpm
pH, Operating	2 - 11	
Temperature	1 - 40°C	34 - 104°F
Max. Inlet Module Pressure (@ 40°C)	3.0 bar	43.5 psi
Max. Operating TMP	2.1 bar	30 psi
Max. Operating Air Scour Flow	12 Nm³/hr	7.1 scfm
Max. Backwash Pressure	2.5 bar	36 psi
NaOCl (max)	2,000 mg/L	
TSS (max)	100 mg/L	
Turbidity (max)	300 ntu	
Particle Size (max)	300 µm	
Flow Configuration	Outside In, Dead End Flow	
Expected Filtrate Turbidity	< 0.1 NTU	
Expected Filtrate SDI	< 2.5	

Important Information

Proper start-up of a UF system is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved. Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, installation of the membrane modules, instrument calibration and other system checks should be completed. Please refer to the product technical manual.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure variations during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. Flush the UF system to remove shipping solution prior to start up. Remove residual air from the system prior to start up. Manually start the equipment. Target a permeate flow of 60% of design during initial operations. Depending on the application, permeate obtained from initial operations should be discarded. Please refer to the product technical manual.

General Information

If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty (Form No. 795-00027) will be null and void.

To prevent biological growth during system shutdowns, it is recommended that preservative solution be injected into the membrane modules.

Regulatory Note

NSF/ANSI 61 certified drinking water modules require specific conditioning procedures prior to producing potable water. Please refer to the product technical manual flushing section for specific procedures. Drinking water modules may be subjected to additional regulatory restrictions in some countries. Please check local regulatory guidelines and application status before use and sale.

DOW™ Ultrafiltration

For more information about DOW Ultrafiltration, call the Dow Water & Process Solutions business:

North America: 1-800-447-4369
Latin America: (+55) 11-5189-9222
Europe: (+32) 3-450-2240
Pacific: +60 3 7958 3392
Japan: +81 3 5460 2100
China: +86 21 3851 1000

http://www.dowwaterandprocess.com/ut

Notice: No freedom from any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. The product shown in this literature may not be available for sale and/or available in all geographies where Dow is represented. The claims made may not have been approved for use in all countries. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. References to "Dow" or the "Company" mean The Dow Chemical Company and its consolidated subsidiaries unless otherwise expressly noted. NO WARRANTIES ARE GIVEN EXCEPT FOR ANY SPECIFIC WARRANTY SET FORTH HEREIN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.

™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow

Form No. 795-00013-1109

- **Membrana Polimérica de Osmose Inversa (BW30 4040).**

Product Information

DOW

FILMTEC Membranes

FILMTEC Fiberglassed Elements for Light Industrial Systems

Features

FILMTEC™ brackish water reverse osmosis membrane elements provide consistent, outstanding system performance in light industrial applications.

- FILMTEC BW30LE-4040 delivers highest performance at lowest pressure resulting in less energy usage and lower costs.
- FILMTEC BW30-4040 is the industry standard for reliable operation and production of the highest quality water.
- FILMTEC BW30-2540 elements are designed for systems smaller than 1 gpm (0.2 m^3/h) offering a hard shell exterior for extra strength.

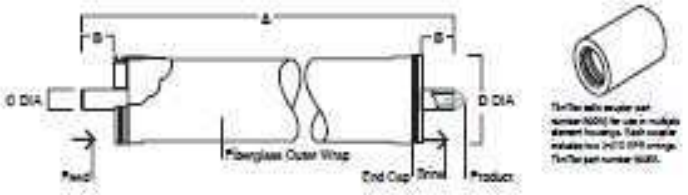
Elements with a hard shell exterior are recommended for systems with multiple-element housings containing three or more membranes, as they are designed to withstand higher pressure drops.

Product Specifications

Product	Part Number	Active Area ft² (m²)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m^3/d)	Stabilized Salt Rejection (%)
BW30LE-4040	80604	82 (7.6)	150 (10.3)	2,300 (8.7)	99.0
BW30-4040	80783	82 (7.6)	225 (15.5)	2,400 (9.1)	99.5
BW30-2540	80766	28 (2.6)	225 (15.5)	850 (3.2)	99.5

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm NaCl, pressure specified above, 77°F (25°C) and 15% recovery.
2. Permeate flows for individual elements may vary +/-20%.
3. For the purpose of improvement, specifications may be updated periodically.
4. BW30LE-4040 was previously named BW30HP-4040.

Figure 1



Dimensions – Inches (mm)

Product	A	B	C	D
BW30LE-4040	40.0 (1,016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
BW30-4040	40.0 (1,016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
BW30-2540	40.0 (1,016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)

1. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element systems. 1 inch = 25.4 mm
2. BW30-2540 elements fit nominal 2.5-inch I.D. pressure vessel. BW30LE-4040 and BW30-4040 elements fit nominal 4-inch I.D. pressure vessel.

* Trademark of The Dow Chemical Company

Operating Limits

• Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
• Maximum Operating Temperature[a]	113°F (45°C)
• Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)
• Maximum Feed Flow Rate - 4040 elements	16 gpm (3.6 m³/h)
- 2540 elements	6 gpm (1.4 m³/h)
• Maximum Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
• pH Range, Continuous Operation[b]	2 – 11
• pH Range, Short-Term Cleaning[c]	1 – 12
• Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
• Free Chlorine Tolerance[c]	<0.1 ppm

[a] Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).
[b] Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.
[c] Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-00298) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 50 psi (3.4 bar).
- Avoid static permeate-side backpressure at all times.

FILMTEC Membranes
For more information about FILMTEC membranes, call the Dow Liquid Separations business:
North America: 1-800-447-4369
Latin America: (+55) 11-5188-9222
Europe: (+32) 3-450-2240
Pacific (ex. China): +800-7776-7776
China: +10-800-600-0015
http://www.filmtec.com

Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.

*Trademark of The Dow Chemical Company

Form No. 609-00350-604

ANEXO C

METODOLOGIA SOBRE A LIMPEZA QUÍMICA DOS SISTEMAS DE MF/NF E UF/OI.

Esta limpeza estabelece a remoção de eventuais microrganismos e sais inorgânicos que estabelece a remoção destas impurezas sobre a superfície das membranas através da aplicação da solução básica de **NaOH (pH =10)** e da solução de ácido cítrico **$H_8C_5O_7$ (pH = 3)**.

A primeira membrana a ter ocorrido à limpeza química foi a de microfiltração e em seguida a membrana de nanofiltração, esta limpeza teve duas fases, uma com uma solução básica e a outra com solução ácida. Estas etapas ocorreram da seguinte maneira:

SOLUÇÃO BÁSICA

- Preparou uma solução de 100 litros de solução básica de **NaOH (pH =10,6)** em um reator de mistura;
- Conectou-se a membrana ao reator de mistura para dar início à limpeza química;
- Deixou-se circular a solução de NaOH no elemento de membrana no tempo de 1 minuto para que se ocasione a retirada do restante de água que o sistema continha no seu interior;
- Em seguida, conectou-se a saída do concentrado da membrana com o reator de mistura para dá início ao processo de limpeza com NaOH;
- Dano início ao processo, coletando dados como condutividade, pH e temperatura do reator e do concentrado da membrana no tempo 0 min e, em seguida a cada 15 minutos;
- Quando o pH do reator (alimentação da membrana) igualou-se ao pH do concentrado da membrana ocorreu repetição destes valores no tempo de 1:30 min, 1:45 min, 2:00 horas e 2:15 min, finalizou o processo de limpeza com a solução de NaOH;
- Logo em seguida a membrana foi deixada de molho em torno de 1 hora, logo após o tempo de molho ocorreu o enxágüe da mesma pra da inicio a limpeza química com a solução ácida;

SOLUÇÃO ÁCIDA

- Preparou uma solução de 100 litros de solução ácida de cítrico **$H_8C_5O_7$ (pH = 3)** em um reator de mistura;
- Conectou-se a membrana de membrana ao reator de mistura para dar início à limpeza química;
- Deixou-se circular a solução de Ácido Cítrico no elemento de membrana no tempo de 1 minuto para que se ocasione a retirada do restante de água que o sistema continha após o enxágue ocorrido anteriormente no seu interior;
- Em seguida, conectou-se a saída do concentrado da membrana com o reator de mistura para dá início ao processo de limpeza com Ácido Cítrico;
- Dano início ao processo, coletou dados como condutividade, pH e temperatura do reator e do concentrado da membrana no tempo 0 min e, em seguida a cada 15 minutos;
- Quando o pH do reator (alimentação da membrana) igualou-se ao pH do concentrado da microfiltração ocorreu uma repetição destes valores no tempo de 1:30 min, 1:45 min, 2:00 horas, finalizou o processo de limpeza com a solução de Ácido Cítrico;
- Logo em seguida a membrana foi deixada de molho em torno de 1 hora, logo após o tempo de molho ocorreu o enxágue da mesma.

ANEXO D

AUTORIZAÇÃO DOS DADOS DA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA PELA COMPANHIA DE ÁGUA ESGOTO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN)

---------- Mensagem encaminhada ----------
De: **Kepler Borges Franca** <kepler123@gmail.com>
Data: 1 de novembro de 2016 17:35
Assunto: Autorização do uso da análise físico química da água do poço Felipe Camarão.
Para: marcelocaern@yahoo.com.br

Prezado Sr. Marcelo Augusto de Queiroz,

É do conhecimento que o Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande, vem estudando a remoção de N-Nitrato em águas superficiais e subterrâneas, e que nos meados de Abril de 2015, a CAERN junto com a Secretaria de Recursos Hídricos do RGNorte, encaminhou 1000 Litros para o LABDES para fins de estudar a remoção de nitrato da água do poço Felipe Camarão.
Nesse sentido, solicitamos a Vossa Senhoria, uma autorização para uso da análise físico química da água do poço, Felipe Camarão, realizada pelo Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande (Anexo), para ser depositada no trabalho de pesquisa a nível de doutorado de um aluno do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande.
Considerando que o presente trabalho será defendido nos meados de Novembro de 2016 gostaríamos de receber essa autorização com maior brevidade possível, e, aproveitamos contar com a presença dos senhores para assistir a apresentação, a qual será enviado um convite no momento oportuno.

Atenciosamente,
Prof. Kepler B. França (Ph.D)

Prezado Sr. Gerente de Hidrogeologia da Caern
João Maria,

Estamos encaminhando a Vossa Senhoria o email encaminhado ao Sr. Marcello (copiando), o qual acabei de conversar sobre o assunto.

Considerando que o trabalho vai ser defendido no mês de dezembro/16 gostaríamos que o documento fosse enviado em tempo.

Atenciosamente,
Prof. Kepler B. França

---------- Mensagem encaminhada ----------
De: **Kepler Borges Franca** <kepler123@gmail.com>
Data: 1 de novembro de 2016 17:35
Assunto: Autorização do uso da análise físico química da água do poço Felipe Camarão.
Para: marcelocaern@yahoo.com.br

Prezado Sr. Marcelo Augusto de Queiroz,

É do conhecimento que o Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande, vem estudando a remoção de N-Nitrato em águas superficiais e subterrâneas, e que nos meados de Abril de 2015, a CAERN junto com a Secretaria de Recursos Hídricos do RGNorte, encaminhou 1000 Litros para o LABDES para fins de estudar a remoção de nitrato da água do poço Felipe Camarão.

Nesse sentido, solicitamos a Vossa Senhoria, uma autorização para uso da análise físico química da água do poço, Felipe Camarão, realizada pelo Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande (Anexo), para ser depositada no trabalho de pesquisa a nível de doutorado de um aluno do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande.

Considerando que o presente trabalho será defendido nos meados de Novembro de 2016 gostaríamos de receber essa autorização com maior brevidade possível, e, aproveitamos contar com a presença dos senhores para assistir a apresentação, a qual será enviado um convite no momento oportuno.

Atenciosamente,
Prof. Kepler B. França (Ph.D)

A Do
Solicito autorizem.
17/11/16

Cia. de Águas e Esgotos do RN - CAERN
Geólogo João Maria S. do Nascimento
Gerente da GHPADT

A GHP para análise e emitir parecer acerca de solicitação.

17/11/16

CAERN
Engº João Alberto Dantas da Costa
Diretor de Operação e Manutenção

À DO

Tendo em vista que o solicitado, se destina para fins acadêmicos, não vemos nenhum problema, em fazer uso dos dados, pelo LABLDES.

C- 17/11/16

A GHD, Ao Arq.

17/11/16

CAERN
Engº João Alberto Dantas da Costa
Diretor de Operação e Manutenção

DE/DO
ENTRADA 17 / 11 / 16
SAÍDA ___ / ___ / ___
Fl. 996 Prot. 0114.05

LABDES
Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudo Nº.:/2015		Data da Coleta: 16/04/2015
Interessado: CAERN		Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Natal – RN		Data da Entrega da Amostra: 16/04/2015
Localidade: Natal		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: Poço Felipe Camarão	Vazão(*): 80 m³/h	Data da Análise: 16/04/2015

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 °C	401,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	4,8	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,4	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	4,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	21,6	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	100,0	500,0
Sódio (Na^{+}), mg/L	28,4	200,0
Potássio (K^{+}), mg/L	0,3	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,03	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	21,1	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	66,7	250,0
Nitrato (N), mg/L	23,5	10,0
Nitrito (NO_2^{-}), mg/L	0,02	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	6,3	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,55	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	197,3	1.000,0

(*)Vazão Informada.
(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:
De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.
OBSERVAÇÕES:
1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França Data: 01/11/2016

Laboratório de Referência em Dessalinização -UFCG/CCT/DEQ
Av. Aprígio Veloso 882 Bodocongó, 58.109-970 – C. Grande, PB – Fone/Fax: 0xx-83-2101.1366.
labdes@labdes.ufcg.edu.br

---------- Mensagem encaminhada ----------
De: **Kepler Borges Franca** <kepler123@gmail.com>
Data: 17 de novembro de 2016 09:20
Assunto: Re: Autorização do uso da análise físico química da água do poço Felipe Camarão.
Para: João Maria Soares do Nascimento Nascimento <jmsngeo@gmail.com>

Prezado Sr. João,

Agradecemos a Vossa Senhoria a autorização das análises das águas para fins acadêmicos.
Atenciosamente,
Prof. Kepler B. França
Em 17 de novembro de 2016 08:50, João Maria Soares do Nascimento Nascimento <jmsngeo@gmail.com> escreveu:

Caro Prof. Kepler,
Conforme solicitado a Diretoria da CAERN, autorizou o uso da análise para fins exclusivos acadêmicos, conforme anexo a. Abraço Geólogo João Maria - GHP/DO. Em 16 de novembro de 2016 as 16:17, Kepler Borges Franca <kepler123@gmail.com> escreveu: Prezado Sr. Gerente de Hidrogeologia da Caern João Maria, Estamos encaminhando a Vossa Senhoria o email encaminhado ao Sr. Marcello (copiando), o qual acabei de conversar sobre o assunto. Considerando que o trabalho vai ser defendido no mês de dezembro/16 gostaríamos que o documento fosse enviado em tempo.

Atenciosamente,
Prof. Kepler B. França

APÊNDICE A

LAUDOS FÍSICOS-QUÍMICOS DAS ÁGUAS ESTUDADAS NESTE TRABALHO.

- Laudo físico química da água dessalinizada usada para o preparo da solução de nitrato.

Laudo N^{O}.:/2016	Data da Coleta: 02/08/2014
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande-PB	Data da Entrega da Amostra: 02/08/2014
Localidade: LABDES/UFCG	Tipo de Recipiente: Tanque de 1000 Litros
Procedência: Solução de Nitrato	Data da Análise: 02/08/2014

PARÂMETROS	**RESULTADOS**	**VMP (**)**
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	95,1	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	6,8	**6,0 a 9,5**
Turbidez, (uT)	0,0	**5,0**
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	0,0	**15,0**
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	1,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	0,5	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	4,5	**500,0**
Sódio (Na^{+}), mg/L	17,5	**200,0**
Potássio (K^{+}), mg/L	0,0	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	**0,2**
Ferro Total, mg/L	0,00	**0,3**
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	4,8	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	4,8	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	2,7	**250,0**
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	24,9	**250,0**
N-Nitrato (NO_3^{-}), mg/L	**0,00**	**10,0**
N-Nitrito (NO_2^{-}), mg/L	0,00	**1,0**
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	**1,5**
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,1	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-3,96	**≤ 0**
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	52,5	**1.000,0**

- Laudo físico química da água doce Localizada na Cidade de Natal – RN.

Laudo N^{O}.:/2016		Data da Coleta: 16/04/2015
Interessado: CAERN		Resp. pela Coleta: CAERN
Município: Natal-RN		Data da Entrega da Amostra: 16/04/2015
Localidade: Natal		Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência: Água de Poço Tubular	Vazão: 80 $m^3.h^{-1}$	Data da Análise: 16/04/2015

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	291,9	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	**6,0 a 9,5**
Turbidez, (uT)	1,0	**5,0**
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	**15,0**
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	5,4	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	11,4	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	61,0	**500,0**
Sódio (Na^{+}), mg/L	30,4	**200,0**
Potássio (K^{+}), mg/L	2,7	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,04	**0,2**
Ferro Total, mg/L	0,02	**0,3**
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	21,1	**250,0**
Fósforo Total, mg/L	0,1	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	66,7	**250,0**
N-Nitrato (NO_3^{-}), mg/L	20,8	**10,0**
N-Nitrito (NO_2^{-}), mg/L	0,02	**1,0**
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	**1,5**
Sílica, mg/L (SiO_2)	6,3	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,55	**≤ 0**
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	197,3	**1.000,0**

- Laudo físico química da água de abastecimento do LABDES/UFCG.

Laudo Nº.:/2016	Data da Coleta: 21/05/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande-PB	Data da Entrega da Amostra: 21/05/2015
Localidade:UFCG	Tipo de Recipiente: Tanque de 1000 Litros
Procedência:Água da torneira do LABDES/UFCG	Data da Análise: 21/05/2015

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	1596,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	8,0	**6,0 a 9,5**
Turbidez, (uT)	0,5	**5,0**
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	**15,0**
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	34,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	47,9	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	284,5	**500,0**
Sódio (Na^{+}), mg/L	207,4	**200,0**
Potássio (K^{+}), mg/L	5,3	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	**0,2**
Ferro Total, mg/L	0,02	**0,3**
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	33,0	**250,0**
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	438,8	**250,0**
N-Nitrato (NO_3^{-}), mg/L	0,0	**10,0**
N-Nitrito (NO_2^{-}), mg/L	0,004	**1,0**
Amônia (NH_3), mg/L	0,31	**1,5**
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,0	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,07	**≤ 0**
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	877,5	**1.000,0**

- Laudo físico químico da água salobra do poço tubular Localizado no distrito de Uruçu na Cidade de são João do Cariri - PB.

Laudo N^{O}.:/2016	Data da Coleta: 19/11/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: São João do Cariri	Data da Entrega da Amostra: 19/11/2015
Localidade:Uruçú	Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência:Água do Poço Tubular	Data da Análise: 19/11/2015

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	3050,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	**6,0 a 9,5**
Turbidez, (uT)	4,9	**5,0**
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	15,0	**15,0**
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	92,5	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	102,0	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	656,3	**500,0**
Sódio (Na^{+}), mg/L	509,4	**200,0**
Potássio (K^{+}), mg/L	9,1	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	**0,2**
Ferro Total, mg/L	0,45	**0,3**
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	148,4	**250,0**
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	905,3	**250,0**
N-Nitrato (NO_3^{-}), mg/L	0,0	**10,0**
N-Nitrito (NO_2^{-}), mg/L	0,02	**1,0**
Amônia (NH_3), mg/L	1,85	**1,5**
Sílica, mg/L (SiO_2)	16,1	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,24	**≤ 0**
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	2240.2	**1.000,0**

APÊNDICE B

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE ALGUMAS BATELADAS DOS DOIS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO MICRO/NANOFILTRAÇÃO E ULTRA/OSMOSE INVERSA.

- **Sistema de membranas MF/NF.**

  ✓ Experimento realizado no sistema MF/NF com a água de um poço localizado na cidade de Natal – RN com a pressão de operação de P = 3,20 bar.

Laudo Nº.:/2016		Data da Coleta: 22/05/2015
Interessado: CAERN		Resp. pela Coleta: CAERN
Município: Natal-RN		Data da Entrega da Amostra: 22/05/2015
Localidade: Natal		Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência: Água de Poço Tubular	Vazão: 80 $m^3.h^{-1}$	Data da Análise: 23/05/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[NF]_C$	$[NF]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	291,9	431,3	81,5	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	6,9	7,8	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1,0	0,6	0,4	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	5,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	5,4	11,4	2,2	---	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	11,4	17,8	1,0	91,22	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	61,0	102,5	9,5	84,43	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	30,4	55,1	7,5	75,33	200,0
Potássio (K^+), mg/L	2,7	4,5	0,7	74,07	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,04	0,23	0,00	100,0	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,01	0,01	50,0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	37,6	18,4	48,31	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	37,6	18,4	48,31	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	21,1	25,0	14,1	33,18	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,1	0,1	0,0	100,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	66,7	85,9	17,8	73,31	250,0
Nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), mg/L	20,8	21,61	9,7	53,37	10,0
Nitrito ($N\text{-}NO_2^-$), mg/L	0,02	0,049	0,015	25,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	0,00	0,00	100,0	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	6,3	7,7	0,9	85,71	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,55	-2,03	-2,10	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	197,3	349,3	95,5	51,59	1.000,0

- ✓ Experimento realizado no sistema MF/NF com a água de um poço localizado na cidade de Natal – RN com a pressão de operação de P = 4,35 bar.

Laudo Nº.:/2016		Data da Coleta: 22/05/2015
Interessado: CAERN		Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Natal-RN		Data da Entrega da Amostra: 22/05/2015
Localidade: Natal		Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência: Água de Poço Tubular	Vazão: 80 $m^3.h^{-1}$	Data da Análise: 23/05/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[NF]_C$	$[NF]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	291,9	650,0	102,8	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	7,9	8,2	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1,0	0,7	0,6	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	20,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	5,4	16,0	4,2	---	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	11,4	25,7	4,3	80,09	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	61,0	147,0	28,5	53,28	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	30,4	260,8	7,9	74,01	200,0
Potássio (K^+), mg/L	2,7	21,3	0,3	88,88	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,04	0,00	0,00	100,0	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,09	0,00	100,0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	67,2	12,8	64,04	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	67,2	12,8	64,04	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	21,1	85,7	17,7	16,11	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,1	0,0	0,0	100,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	66,7	142,0	32,0	52,02	250,0
Nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), mg/L	20,8	24,36	7,96	61,73	10,0
Nitrito ($N\text{-}NO_2^-$), mg/L	0,02	0,16	0,01	50,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,0	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	6,3	3,3	0,7	88,88	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,55	-0,67	-1,54	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	197,3	385,7	89,2	54,89	1.000,0

- ✓ Experimento realizado no sistema MF/NF com a água de abastecimento adicionada com nitrato do LABDES/UFCG com a pressão de operação de P = 2,0 bar.

Laudo Nº.:/2015	Data da Coleta: 03/06/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande-PB	Data da Entrega da Amostra: 03/06/2015
Localidade:LABDES/UFCG	Tipo de Recipiente: Tanque de 1000 Litros
Procedência:Água de abastecimento do LABDES/UFCG	Data da Análise: 04/06/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[NF]_C$	$[NF]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	1596,0	1.808,0	403,0	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	8,0	7,5	7,5	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,5	0,6	0,4	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	10,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	34,0	33,6	5,8	82,94	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	47,9	57,2	5,3	88,94	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	284,5	322,5	36,5	87,17	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	207,4	259,7	44,4	78,59	200,0
Potássio (K^+), mg/L	5,3	6,3	1,7	67,92	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,0	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,02	0,01	50,0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	92,8	24,0	73,57	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	92,8	24,0	73,57	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	33,0	268,3	5,6	83.03	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	438,8	450,1	110,1	74,91	250,0
Nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), mg/L	20,8	22,5	17,31	16,78	10,0
Nitrito ($N\text{-}NO_2^-$), mg/L	0,004	0,03	0,001	75,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,31	0,79	0,12	61,29	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,0	0,0	0,0	0,0	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,07	-0,64	-1,88	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	877,5	1.190,7	260,4	71,46	1.000,0

- ✓ Experimento realizado no sistema MF/NF com a água de abastecimento adicionada com nitrato do LABDES/UFCG com a pressão de operação de P = 4,35 bar.

Laudo Nº.:/2016	Data da Coleta: 03/06/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande-PB	Data da Entrega da Amostra: 03/06/2015
Localidade:LABDES/UFCG	Tipo de Recipiente: Tanque de 1000 Litros
Procedência:Água de abastecimento do LABDES/UFCG	Data da Análise: 04/06/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[NF]_C$	$[NF]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	1596,0	1.882,0	351,0	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	8,0	7,9	7,1	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,5	0,6	0,9	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	10,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	34,0	45,8	8,2	75,88	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	47,9	71,8	6,0	87,37	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	284,5	413,5	45,5	84,00	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	207,4	201,9	39,5	80,95	200,0
Potássio (K^+), mg/L	5,3	8,1	1,5	71,69	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,02	0,00	100,00	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	16,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	86,0	28,0	69,16	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	102,0	28,0	69,16	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	33,0	20,6	5,2	84,24	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	438,8	586,5	88,0	79,94	250,0
Nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), mg/L	20,8	30	9,46	54,52	10,0
Nitrito ($N\text{-}NO_2^-$), mg/L	0,04	0,07	0,02	50,00	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,31	0,62	0,13	58,06	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,07	0,03	-2,04	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	877,5	1.185,2	220,3	74,89	1.000,0

- ✓ Experimento realizado no sistema MF/NF com a água salobra da localidade de Uruçu localizado no município de São João do Cariri – PB com a pressão de operação de P = 4,0 bar.

Laudo Nº.:/2016	Data da Coleta: 27/11/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: São João do Cariri-PB	Data da Entrega da Amostra: 27/11/2015
Localidade: Uruçu	Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência:Água de poço Tubular	Data da Análise: 30/11/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[NF]_C$	$[NF]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	3.050,0	5.240,0	1.420,0	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	7,8	7,3	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	4,9	0,6	0,5	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	15,0	15,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	92,5	182,4	18,8	79,68	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	102,0	177,5	17,5	82,84	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	656,3	1.195,5	120,0	81,72	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	509,4	723,4	167,2	67,18	200,0
Potássio (K^+), mg/L	9,1	11,8	2,7	70,33	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,25	0,00	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,45	0,18	0,06	86,67	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	20,8	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	347,2	62,4	84,00	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	368,0	62,4	84,00	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	148,4	181,9	33,4	77,22	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	905.3	1.426,4	376,3	58,43	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	20,0	22,0	13,2	34,00	10,0
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,02	0,04	0,01	50,00	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	1,85	0,90	0,24	87,03	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	16,1	23,3	9,1	49,69	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,24	0,94	-1,20	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	2.261,0	4.990,5	891,4	60,62	1.000,0

- **Sistema de membranas UF/OI.**

  - ✓ Experimento realizado no sistema UF/OI com a água de um poço localizado na cidade de Natal – RN com a pressão de operação de P = 5,0 bar.

Laudo Nº.:/2016		Data da Coleta: 24/05/2015
Interessado: CAERN		Resp. pela Coleta: CAERN
Município: Natal-RN		Data da Entrega da Amostra: 24/05/2015
Localidade:Cidade de Natal		Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência: Água de Poço Tubular	Vazão: $80 m^3.h^{-1}$	Data da Análise: 25/05/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[O.I]_C$	$[O.I]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	291,9	618,0	144,8	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	7,6	7,9	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1,0	2,1	1,0	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	20,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	5,4	34,0	1,2	77,78	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	11,4	3,7	3,7	67,54	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	61,0	100,5	9,5	84,43	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	30,4	144,5	13,8	54,60	200,0
Potássio (K^+), mg/L	2,7	16,7	0,6	77,78	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,04	0,00	0,00	100,0	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,026	0,00	100,0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	85,2	21,2	40,45	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	85,2	21,2	40,45	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	21,1	25,9	15,7	25,59	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,1	0,0	0,0	100,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	66,7	230,8	51,1	23,39	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	20,8	24,8	5,67	72,74	10,0
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,02	0,24	0,00	100,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	6,3	7,6	0,5	92,06	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,55	-0,50	-1,56	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	197,3	595,0	138,2	59,1	1.000,0

- ✓ Experimento realizado no sistema UF/OI com a água de um poço localizado na cidade de Natal – RN com a pressão de operação de P = 9,25 bar.

Laudo N^{O}.:/2016		Data da Coleta: 24/05/2015
Interessado: CAERN		Resp. pela Coleta: CAERN
Município: Natal-RN		Data da Entrega da Amostra: 24/05/2015
Localidade: Cidade de Natal		Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência: Água de Poço Tubular	Vazão: 80 $m^3.h^{-1}$	Data da Análise: 25/05/2015

PARÂMETROS	Alimentação	[O.I]$_C$	[O.I]$_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 ºC	291,9	413,9	9,8	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	6,9	7,9	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1,0	0,7	0,5	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	5,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	5,4	13,8	0,6	88,89	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	11,4	13,3	0,0	100,0	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	61,0	90,0	4,5	92,63	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	30,4	44,4	4,0	86,84	200,0
Potássio (K^+), mg/L	2,7	4,4	0,0	100,0	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,04	0,06	0,00	100,0	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,08	0,00	100,0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	39,2	8,8	75,28	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	35,6	39,2	8,8	75,28	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	21,1	17,5	0,6	97,16	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,1	0,1	0,0	100,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	66,7	82,4	12,8	80,81	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	20,8	26,80	4,16	84,81	10,0
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,02	0,19	0,00	100,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	6,3	8,2	0,0	100,0	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,55	-1,86	-2,36	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	197,3	350,8	44,1	77,65	1.000,0

- Experimento realizado no sistema UF/OI com a água de abastecimento adicionada com nitrato do LABDES/UFCG com a pressão de operação de P = 5,0 bar.

Laudo N^{O}.:/2016	Data da Coleta: 07/06/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande-PB	Data da Entrega da Amostra: 07/06/2015
Localidade: LABDES/UFCG	Tipo de Recipiente: Tanque de 1000 Litros
Procedência:Água de abastecimento do LABDES/UFCG	Data da Análise: 08/06/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[O.I]_C$	$[O.I]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 ºC	1596,0	1.840,0	387,0	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	8,0	8,3	7,0	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,5	1,2	0,5	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	20,0	10,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	34,0	113,5	8,0	76,47	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	47,9	186,3	7,8	83,72	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	284,5	560	77,5	72,76	500,0
Sódio (Na^{+}), mg/L	207,4	595,3	49,1	76,33	200,0
Potássio (K^{+}), mg/L	5,3	5,1	1,1	79,25	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,05	0,00	100,0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	172,0	36,0	60,35	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	258,0	36,0	60,35	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	33,0	742,5	13,0	60,60	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Cloreto (Cl^{-}), mg/L	438,8	629,5	61,5	85,98	250,0
N-Nitrato (NO_3^{-}), mg/L	20,8	28,0	5,8	72,12	10,0
N-Nitrito (NO_2^{-}), mg/L	0,004	0,01	0,00	100,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,31	3,88	0,13	58,06	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,0	0,1	0,0	0,00	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,07	1,09	-0,81	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	877,5	1.759,0	316,2	63,97	1.000,0

- ✓ Experimento realizado no sistema UF/OI com a água de abastecimento adicionada com nitrato do LABDES/UFCG com a pressão de operação de P = 13,5 bar.

Laudo Nº.:/2016	Data da Coleta: 07/06/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande-PB	Data da Entrega da Amostra: 07/06/2015
Localidade: LABDES/UFCG	Tipo de Recipiente: Tanque de 1000 Litros
Procedência: Água de abastecimento do LABDES/UFCG	Data da Análise: 08/06/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[O.I]_C$	$[O.I]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 ºC	1596,0	1.800,0	219,0	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	8,0	7,4	7,4	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,5	2,5	0,6	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	5,0	80,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	34,0	120,8	2,0	94,12	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	47,9	39,1	1,4	97,08	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	284,5	465,0	11,0	96,13	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	207,4	319,0	20,6	90,07	200,0
Potássio (K^+), mg/L	5,3	10,8	0,8	84,91	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,01	0,00	100,0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	254,8	15,2	83,26	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	90,8	291,6	15,2	83,26	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	33,0	175,7	3,0	90,91	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	438,8	411,8	49,0	88,83	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	20,8	29,0	2,0	90,38	10,0
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,004	0,03	0,0	100,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,31	7,75	0,08	74,19	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,07	0,36	-2,63	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	877,5	1.586,1	104,9	88,05	1.000,0

- ✓ Experimento realizado no sistema UF/OI com a água salobra da localidade de Uruçu localizado no município de São João do Cariri – PB com a pressão de operação de P = 8,2 bar.

Laudo Nº.:/2016	Data da Coleta: 01/12/2015
Interessado: LABDES/UFCG	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: São João do Cariri-PB	Data da Entrega da Amostra: 01/12/2015
Localidade: Uruçu	Tipo de Recipiente: Pipa de 1000 Litros
Procedência: Água de poço	Data da Análise: 04/12/2015

PARÂMETROS	Alimentação	$[O.I]_C$	$[O.I]_P$	R%	VMP (**)
Condutividade Elétrica, μmho/cm a 25 ºC	3.050,0	5.400,0	340,0	---	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	7,5	7,8	---	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	4,9	1,0	0,4	---	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	15,0	15,0	0,0	---	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	92,5	184,2	12,2	86,81	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	102,0	183,0	6,1	95,90	---
Dureza Total ($CaCO_3$), mg/L	656,3	923,0	56,0	91,47	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	509,4	695,4	31,8	93,76	200,0
Potássio (K^+), mg/L	9,1	11,5	0,5	94,51	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,45	0,18	0,08	82,22	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	367,2	27,2	93,03	---
Alcalinidade Total, mg/L ($CaCO_3$)	390,0	406,4	27,2	93,03	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	148,4	184,2	18,8	87,33	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	0,0	0,0	0,00	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	905.3	1.601,8	62,5	93,09	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	20,1	24	3,40	83,08	10,0
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,02	0,03	0,00	100,0	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	1,85	0,67	0,40	78,38	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	16,1	22,2	1,2	92,55	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,24	0,75	-1,23	---	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180ºC), mg/L	2.261,0	5.160,9	350,3	84,51	1.000,0

APÊNDICE C

PROJETO SIMULADO COM AUXILIO DO SOFTWARE ROSA PARA OS SEGUINTES SISTEMAS DE MEMBRANAS: MF/NF e UF/OI, COM AS SEGUINTES CONCENTRAÇOES DE:

$0{,}67\ mg.L^{-1} \leq N\text{-}NO_3^- \leq 23{,}5\ mg.L^{-1}$

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA MF/NF, SOLUÇÃO DE NITRATO.

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE $N\text{-}NO_3^-$ = 4,0 $mg.L^{-1}$ e P = 2,0 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.11	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	2.00	m³/h	Pass 1 Recovery	5.42	%	Feed	0.07	bar	
Feed Pressure	2.00	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.07	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	101.16	mg/l	Average	0.07	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	1.46	bar	
Total Active Area	7.62	M²	Average Pass 1 Flux	14.22	lmh	Power	0.14	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.28	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	NF90-4040	1	1	2.00	1.66	0.00	1.89	1.37	0.11	14.22	0.00	2.00	23.61

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	7.28	32.55	34.03	6.69	6.69
Mg	0.10	0.10	0.11	0.00	0.00
Ca	0.20	0.20	0.21	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	18.80	18.80	19.77	2.56	2.56
NO3	17.71	17.71	18.05	11.88	11.88
Cl	24.10	24.10	25.34	2.43	2.43
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	7.70	7.70	8.14	0.07	0.07
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	57.18	55.91	57.18	56.65	56.61
TDS	75.89	101.16	105.64	23.61	23.61
pH	5.70	5.70	5.71	4.86	4.86

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.05	0.11	23.61	2.00	101.16	1.66

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	5.70	5.70	5.71
Langelier Saturation Index	-5.21	-5.21	-5.17
Stiff & Davis Stability Index	-3.75	-3.75	-3.90
Ionic Strength (Molal)	0.00	0.00	0.00
TDS (mg/l)	75.89	101.16	105.64
HCO_3	18.80	18.80	19.77
CO_2	57.17	57.17	57.17
CO_3	0.00	0.00	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 25.27 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULÇÃO COM O SISTEMA MF/NF, SOLUÇÃO DE NITRATO.

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE $N\text{-}NO_3^-$ = 20,0 $mg.L^{-1}$ e P = 2,0 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.11	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	2.00	m³/h	Pass 1 Recovery	5.32	%	Feed	0.12	bar	
Feed Pressure	2.00	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.13	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	198.29	mg/l	Average	0.13	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	1.43	bar	
Total Active Area	7.62	M²	Average Pass 1 Flux	13.97	lmh	Power	0.14	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.31	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	NF90-4040	1	1	2.00	1.66	0.00	1.89	1.37	0.11	13.97	0.00	2.00	80.50

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	33.56	58.82	60.90	21.79	21.79
Mg	0.10	0.10	0.11	0.01	0.01
Ca	0.20	0.20	0.21	0.02	0.02
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	18.80	18.80	19.85	1.41	1.41
NO3	88.57	88.57	90.45	55.18	55.18
Cl	24.10	24.10	25.34	2.10	2.10
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	7.70	7.70	8.13	0.00	0.00
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	54.87	54.08	54.87	53.85	53.82
TDS	173.03	198.29	204.99	80.50	80.50
pH	5.70	5.70	5.72	4.60	4.60

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.05	0.11	80.50	2.00	198.29	1.66

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	5.70	5.70	5.72
Langelier Saturation Index	-5.25	-5.25	5.19
Stiff & Davis Stability Index	-4.07	-4.07	-4.11
Ionic Strength (Molal)	0.00	0.00	0.00
TDS (mg/l)	173.03	198.29	204.99
HCO_3	18.80	18.80	19.85
CO_2	54.86	54.86	54.86
CO_3	0.00	0.00	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 25.26 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA MF/NF, ÁGUA DOCE.

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- = 20,8 mg.L^{-1} e P = 1,51 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.07	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	2.00	m³/h	Pass 1 Recovery	3.35	%	Feed	0.18	bar	
Feed Pressure	1.51	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.19	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	303.03	mg/l	Average	0.18	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	0.90	bar	
Total Active Area	7.62	M²	Average Pass 1 Flux	8.80	lmh	Power	0.10	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.56	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	NF90-4040	1	1	2.00	1.17	0.00	1.93	0.87	0.07	8.80	0.00	1.51	111.64

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.30	0.30	0.30	0.27	0.27
Na	28.40	55.31	56.35	25.38	25.38
Mg	21.60	21.60	22.27	2.26	2.26
Ca	4.00	4.00	4.12	0.42	0.42
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	35.60	35.60	36.77	5.77	5.77
NO3	92.12	92.12	92.81	60.48	60,48
Cl	66.70	66.70	68.85	4.64	4.64
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	21.10	21.10	21.83	0.00	0.00
SiO2	6.30	6.30	6.50	0.63	0.63
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	777.09	770.11	777.11	773.85	772.70
TDS	276.12	303.03	309.81	111.64	111.64
pH	4.80	4.80	4.81	4.05	4.05

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.03	0.07	111.64	2.00	303.03	1.17

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	4.80	4.80	4.81
Langelier Saturation Index	-4.59	-4.59	-4.56
Stiff & Davis Stability Index	-3.73	-3.73	-3.75
Ionic Strength (Molal)	0.01	0.01	0.01
TDS (mg/l)	276.12	303.03	309.81
HCO_3	35.60	35.60	36.77
CO_2	777.03	777.03	776.95
CO_3	0.00	0.00	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.02	0.02	0.02
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	3.96	3.96	4.09
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 26.91 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA MF/NF, ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO. Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE $N\text{-}NO_3^-$ = 20,8 $mg.L^{-1}$ e P = 4,0 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.21	m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	2.00	m³/h	Pass 1 Recovery	10.46	%	Feed	0.56 bar
Feed Pressure	4.00	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.62 bar
Flow Factor	0.85		Feed TDS	842.67	mg/l	Average	0.59 bar
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	2.99 bar
Total Active Area	7.62	M²	Average Pass 1 Flux	27.46	lmh	Power	0.28 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.33 kWh/m³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	NF90-4040	1	1	2.00	3.66	0.00	1.79	3.38	0.21	27.46	0.00	4.00	94.17

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.26	0.23	0.27	0.17	0.17
K	3.70	3.70	3.93	1.76	1.76
Na	181.30	205.97	227.10	25.08	25.08
Mg	37.40	37.40	41.64	1.10	1.10
Ca	27.00	27.00	30.06	0.78	0.78
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.32	1.32	1.54	0.00	0.00
HCO3	72.00	72.00	80.07	2.11	2.11
NO3	92.11	92.11	97.68	44.45	44.45
Cl	324.50	324.50	360.29	18.14	18.14
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	78.20	78.20	87.27	0.59	0.59
SiO2	0.20	0.20	0.22	0.01	0.01
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	0.44	0.44	0.48	0.33	0.33
TDS	818.03	842.67	930.05	94.17	94.17
pH	8.30	8.30	8.30	6.98	6.98

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.10	0.21	94.17	2.00	842.67	3.66

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	8.30	8.30	8.30
Langelier Saturation Index	-0.01	-0.01	0.08
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.43	0.47
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.02
TDS (mg/l)	818.03	842.67	930.05
HCO_3	72.00	72.00	80.07
CO_2	0.44	0.44	0.48
CO_3	1.32	1.32	1.54
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.48	0.48	0.57
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.12	0.12	0.14
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.05	0.05	0.06

To balance: 24.67 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA MF/NF; ÁGUA DO POÇO DE URUÇU/SÃO JOÃO DO CARIRI-PB .

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE $N\text{-}NO_3^-$ = 20,8 $mg.L^{-1}$ e P = 4,0 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.14	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	2.00	m³/h	Pass 1 Recovery	7.09	%	Feed	1.49	bar	
Feed Pressure	4.00	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	1.59	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	2291.71	mg/l	Average	1.54	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	2.13	bar	
Total Active Area	7.62	M²	Average Pass 1 Flux	18.62	lmh	Power	0.28	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.96	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	NF90-4040	1	1	2.00	3.66	0.00	1.86	3.37	0.14	18.62	0.00	4.00	229.04

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	1.85	1.83	1.94	0.64	0.64
K	9.10	9.10	9.43	4.76	4.76
Na	509.40	533.32	569.24	62.84	62.84
Mg	102.00	102.00	109.49	3.90	3.90
Ca	92.50	92.50	99.30	3.48	3.48
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.04	1.04	1.22	0.00	0.00
HCO3	390.00	390.00	418.38	15.65	15.65
NO3	92.11	92.11	94.58	59.74	59.74
Cl	905.30	905.30	968.64	75.52	75.52
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	148.40	148.40	159.60	1.66	1.66
SiO2	16.10	16.10	17.26	0.87	0.87
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	20.84	20.80	20.91	20.76	20.76
TDS	2267.80	2291.71	2449.06	229.04	229.04
pH	7.30	7.30	7.32	6.03	6.03

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.07	0.14	229.04	2.00	2291.71	3.66

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.30	7.30	7.32
Langelier Saturation Index	0.22	0.22	0.30
Stiff & Davis Stability Index	0.30	0.30	0.35
Ionic Strength (Molal)	0.04	0.04	0.05
TDS (mg/l)	2267.80	2291.71	2449.06
HCO3	390.00	390.00	418.38
CO2	20.84	20.84	20.91
CO3	1.04	1.04	1.22
CaSO4 (% Saturation)	2.02	2.04	2.23
BaSO4 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SrSO4 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO2 (% Saturation)	12.88	12.88	13.81
Mg(OH)2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 23.92 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA MF/NF; ÁGUA DO POÇO DE URUÇU/SÃO JOÃO DO CARIRI-PB .

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE $N\text{-}NO_3^-$ = 20,8 $mg.L^{-1}$ e P = 6,0 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	1.40	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.25	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	1.40	m³/h	Pass 1 Recovery	18,01	%	Feed	1.49	bar	
Feed Pressure	6.00	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	1.79	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	2291.71	mg/l	Average	1.64	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	4.05	bar	
Total Active Area	7.62	M²	Average Pass 1 Flux	33.34	lmh	Power	0.29	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.15	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	NF90-4040	1	1	1.40	5.66	0.00	1.15	5.50	0.25	33.34	0.00	6.00	166.04

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	1.85	1.83	2.14	0.54	0.54
K	9.10	9.10	10.29	3.74	3.74
Na	509.40	533.32	641.55	44.99	44.99
Mg	102.00	102.00	123.98	2.83	2.83
Ca	92.50	92.50	112.45	2.48	2.48
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.04	1.04	1.60	0.00	0.00
HCO3	390.00	390.00	473.26	11.34	11.34
NO3	92.11	92.11	102.51	45.18	45.18
Cl	905.30	905.30	1094.18	53.06	53.06
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	148.40	148.40	181.00	1.31	1.31
SiO2	16.10	16.10	19.54	0.60	0.60
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	20.84	20.80	21.09	20.76	20.75
TDS	2267.80	2291.71	2762.49	166.04	166.04
pH	7.30	7.30	7.36	5.90	5.90

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.18	0.25	166.04	1.40	2291.71	5.66

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.30	7.30	7.36
Langelier Saturation Index	-0.22	-0.22	0.45
Stiff & Davis Stability Index	0.30	0.30	0.45
Ionic Strength (Molal)	0.04	0.04	0.05
TDS (mg/l)	2267.80	2291.71	2762.49
HCO_3	390.00	390.00	473.26
CO_2	20.84	20.84	21.08
CO_3	1.04	1.04	1.60
$CaSO_4$ (% Saturation)	2.02	2.04	2.67
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	12.88	12.88	15.63
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 23.92 mg/l Na added to feed.

SIMULAÇÃO COM O SISTEMA UF/OI.

Project Information: SIMULAÇÃO COMO O SISTEMA UF/OI, SOLUÇÃO DE NITRATO

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- = 4,0 mg.L^{-1} e P = 5,0 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.46	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.12	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	2.46	m³/h	Pass 1 Recovery	4.82	%	Feed	0.07	bar	
Feed Pressure	5.00	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.07	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	101.24	mg/l	Average	0.07	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	4.46	bar	
Total Active Area	7.25	M²	Average Pass 1 Flux	16.35	lmh	Power	0.43	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	3.61	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-4040	1	1	2.46	4.66	0.00	2.34	4.41	0.12	16.35	0.00	5.00	2.34

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	3.79	32.58	34.20	0.63	0.63
Mg	0.10	0.10	0.11	0.00	0.00
Ca	0.20	0.20	0.21	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.04	0.04	0.05	0.00	0.00
HCO3	18.80	18.80	19.74	0.24	0.24
NO3	17.71	17.71	18.54	1.28	1.28
Cl	24.10	24.10	25.31	0.14	0.14
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	7.70	7.70	8.09	0.03	0.03
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	0.72	0.70	0.73	0.64	0.64
TDS	72.45	101.24	106.24	2.34	2.34
pH	7.60	7.60	7.61	5.80	5.80

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.05	0.12	2.34	2.46	101.24	4.66

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.60	7.60	7.61
Langelier Saturation Index	-3.31	-3.31	-3.28
Stiff & Davis Stability Index	-1.82	-1.82	-2.00
Ionic Strength (Molal)	0.00	0.00	0.00
TDS (mg/l)	72.45	101.24	106.24
HCO_3	18.80	18.80	19.74
CO_2	0.72	0.72	0.73
CO_3	0.04	0.04	0.05
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 28.79 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SITEMA DE UF/OI, ÁGUA DOCE.

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- = 20,8 mg.L^{-1} e P = 3,24 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.46	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.07	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	2.46	m³/h	Pass 1 Recovery	2.86	%	Feed	0.18	bar	
Feed Pressure	3.24	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.19	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	303.02	mg/l	Average	0.18	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	2.61	bar	
Total Active Area	7.25	M²	Average Pass 1 Flux	9.70	lmh	Power	0.28	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	3.94	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-4040	1	1	2.46	2.90	0.00	2.39	2.64	0.07	9.70	0.00	3.24	37.57

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.30	0.30	0.31	0.10	0.10
Na	28.40	55.31	56.70	8.09	8.09
Mg	21.60	21.60	22.22	0.52	0.52
Ca	4.00	4.00	4.11	0.10	0.10
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	35.60	35.60	36.60	7.75	7.75
NO3	92.11	92.11	94.17	22.13	22.13
Cl	66.70	66.70	68.63	0.98	0.98
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	21.10	21.10	21.72	0.10	0.10
SiO2	6.30	6.30	6.48	0.11	0.11
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	777.10	770.11	777.11	773.83	771.43
TDS	276.11	303.02	310.95	37.57	37.57
pH	4.80	4.80	4.81	4.05	4.05

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.03	0.07	37.57	2.46	303.02	2.90

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	4.80	4.80	4.81
Langelier Saturation Index	-4.59	-4.59	-4.57
Stiff & Davis Stability Index	-3.73	-3.73	-3.76
Ionic Strength (Molal)	0.01	0.01	0.01
TDS (mg/l)	276.11	303.02	310.95
HCO_3	35.60	35.60	36.60
CO_2	777.03	777.03	776.95
CO_3	0.00	0.00	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.02	0.02	0.02
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	3.96	3.96	4.08
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 26.91 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA UF/OI, ÁGUA DOCE.

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE $N\text{-}NO_3^-$ = 20,8 $mg.L^{-1}$ e P = 5,0 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.46	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.12	m³/h	Osmotic Pressure:				
Raw Water Flow to System	2.46	m³/h	Pass 1 Recovery	4.69	%	Feed	0.18	bar		
Feed Pressure	5.00	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.19	bar		
Flow Factor	0.85		Feed TDS	303.02	mg/l	Average	0.19	bar		
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	4.36	bar		
Total Active Area	7.25	M²	Average Pass 1 Flux	15.92	lmh	Power	0.43	kW		
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	3.70	kWh/m³		

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-4040	1	1	2.46	4.66	0.00	2.34	4.41	0.12	15.92	0.00	5.00	27.10

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.30	0.30	0.31	0.07	0.07
Na	28.40	55.31	57.76	5.53	5.53
Mg	21.60	21.60	22.65	0.34	0.34
Ca	4.00	4.00	4.19	0.06	0.06
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	35.60	35.60	37.29	5.26	5.26
NO3	92.11	92.11	95.90	3.54	3,54
Cl	66.70	66.70	69.95	0.65	0.65
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	21.10	21.10	22.13	0.08	0.08
SiO2	6.30	6.30	6.61	0.07	0.07
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	777.10	770.11	777.12	773.74	770.61
TDS	276.11	303.02	316.79	27.10	27.10
pH	4.80	4.80	4.81	4.04	4.04

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.05	0.12	27.10	2.46	303.02	4.66

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	4.80	4.80	4.81
Langelier Saturation Index	-4.59	-4.59	-4.54
Stiff & Davis Stability Index	-3.73	-3.73	-3.74
Ionic Strength (Molal)	0.01	0.01	0.01
TDS (mg/l)	276.11	303.02	316.79
HCO_3	35.60	35.60	37.29
CO_2	777.03	777.03	776.96
CO_3	0.00	0.00	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.02	0.02	0.02
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	3.96	3.96	4.16
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 26.91 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA UF/OI, ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO. Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE $N\text{-}NO_3^-$ = 20,8 mg.L^{-1} e P = 3,24 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	2.60	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.06	m³/h	Osmotic Pressure:				
Raw Water Flow to System	2.60	m³/h	Pass 1 Recovery	2.27	%	Feed	0.56	bar		
Feed Pressure	3.24	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	0.57	bar		
Flow Factor	0.85		Feed TDS	842.77	mg/l	Average	0.57	bar		
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	2.21	bar		
Total Active Area	7.25	M²	Average Pass 1 Flux	8.14	lmh	Power	0.29	kW		
Water Classification: Surface Supply SDI < 3						Specific Energy	4.96	kWh/m³		

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-4040	1	1	2.60	2.90	0.00	2.54	2.62	0.06	8.14	0.00	3.24	27.00

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	3.70	3.70	3.77	0.63	0.63
Na	181.30	206.30	210.93	6.77	6.77
Mg	37.40	37.40	38.26	0.35	0.35
Ca	27.00	27.00	27.62	0.25	0.25
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.32	1.32	1.37	0.00	0.00
HCO3	72.00	72.00	73.62	1.16	1.16
NO3	92.11	92.11	93.93	13.73	13.73
Cl	324.50	324.50	331.94	3.84	3.84
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	78.20	78.20	80.01	0.33	0.33
SiO2	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	0.44	0.44	0.45	0.34	0.34
TDS	817.77	842.77	861.69	27.00	27.00
pH	8.30	8.30	8.30	6.73	6.73

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.02	0.06	27.00	2.60	842.77	2.90

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	8.30	8.30	8.30
Langelier Saturation Index	-0.01	-0.01	-0.01
Stiff & Davis Stability Index	0.43	0.43	0.43
Ionic Strength (Molal)	0.02	0.02	0.02
TDS (mg/l)	817.77	842.77	861.69
HCO_3	72.00	72.00	73.62
CO_2	0.44	0.44	0.45
CO_3	1.32	1.32	1.37
$CaSO_4$ (% Saturation)	0.48	0.48	0.49
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.12	0.12	0.13
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.05	0.05	0.05

To balance: 25.00 mg/l Na added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA UF/OI; ÁGUA DO POÇO DE URUÇU/SÃO JOÃO DO CARIRI-PB .

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- = 0,0 mg.L^{-1} e P = 8,2 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	1.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.15	m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	1.00	m³/h	Pass 1 Recovery	15.00	%	Feed	1.44 bar
Feed Pressure	8.2	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	1.68 bar
Flow Factor	0.85		Feed TDS	2191.25	mg/l	Average	1.56 bar
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	6.23 bar
Total Active Area	7.25	M²	Average Pass 1 Flux	20.70	lmh	Power	0.28 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.89 kWh/m³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-4040	1	1	1.00	7.80	0.00	0.85	7.75	0.15	20.70	0.00	0.00	22.57

Pass Streams (mg/l as Ion)

Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	1.85	1.81	2.16	0.09	0.09
K	9.10	9.10	10.69	0.11	0.11
Na	509.40	509.40	598.22	6.08	6.08
Mg	102.00	102.00	119.88	0.66	0.66
Ca	92.50	92.50	108.72	0.58	0.58
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	2.06	2.06	2.88	0.00	0.00
HCO3	390.00	390.00	457.00	5.25	5.25
NO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	905.30	919.87	1080.60	9.08	9.08
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	148.40	148.40	174.48	0.62	0.62
SiO2	16.10	16.10	18.92	0.13	0.13
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	10.47	10.46	10.81	10.39	10.39
TDS	2176.72	2191.25	2573.51	22.57	22.57
pH	7.60	7.60	7.64	5.90	5.90

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.15	0.15	22.57	1.00	2191.25	7.80

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.60	7.60	7.64
Langelier Saturation Index	-0.52	0.52	0.70
Stiff & Davis Stability Index	0.60	0.60	0.72
Ionic Strength (Molal)	0.04	0.04	0.05
TDS (mg/l)	2176.72	2191.25	2573.51
HCO_3	390.00	390.00	457.00
CO_2	10.47	10.47	10.80
CO_3	2.06	2.06	2.88
$CaSO_4$ (% Saturation)	2.04	2.04	2.57
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	12.88	12.88	15.13
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.01	0.01	0.01

To balance: 14.57 mg/l Cl added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA UF/OI; ÁGUA DO POÇO DE URUÇU/SÃO JOÃO DO CARIRI-PB .

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- = 5,0 mg.L^{-1} e P = 8,2 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	1.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.15	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	1.00	m³/h	Pass 1 Recovery	15.00	%	Feed	1.44	bar	
Feed Pressure	8.2	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	1.69	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	2200.93	mg/l	Average	1.56	bar	
Chem. Dose	None		Number of Elements	1		Average NDP	6.23	bar	
Total Active Area	7.25	M²	Average Pass 1 Flux	20.70	lmh	Power	0.28	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.89	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-4040	1	1	1.00	7.80	0.00	0.85	7.74	0.15	20.70	0.00	0.00	28.28

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	1.85	1.83	2.16	0.08	0.08
K	9.10	9.10	10.53	0.98	0.98
Na	509.40	509.40	598.08	6.86	6.86
Mg	102.00	102.00	119.87	0.73	0.73
Ca	92.50	92.50	108.71	0.64	0.64
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.03	1.03	1.48	0.00	0.00
HCO3	390.00	390.00	457.35	5.49	5.49
NO3	22.14	22.14	25.44	3.44	3.44
Cl	905.30	908.42	1067.09	9.30	9.30
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	148.40	148.40	174.47	0.65	0.65
SiO2	16.10	16.10	18.92	0.13	0.13
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	20.88	20.88	21.07	20.76	20.76
TDS	2197.83	2200.93	2584.10	28.28	28.28
pH	7.30	7.30	7.35	5.62	5.62

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.15	0.15	28.28	1.00	2200.93	7.80

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.30	7.30	7.35
Langelier Saturation Index	-0.22	0.22	0.41
Stiff & Davis Stability Index	0.30	0.30	0.43
Ionic Strength (Molal)	0.04	0.04	0.05
TDS (mg/l)	2197.83	2200.93	2584.10
HCO_3	390.00	390.00	457.35
CO_2	20.88	20.88	21.07
CO_3	1.03	1.03	1.48
$CaSO_4$ (% Saturation)	2.04	2.02	2.57
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	12.88	12.88	15.13
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 3.12 mg/l Cl added to feed.

Project Information: SIMULAÇÃO COM O SISTEMA UF/OI; ÁGUA DO POÇO DE URUÇU/SÃO JOÃO DO CARIRI-PB .

Case-specific: CONCENTRAÇÃO DE N-NO_3^- = 20,0 mg.L^{-1} e P = 8,2 bar.

System Details

Feed Flow to Stage 1	1.00	m³/h	Pass 1 Permeate Flow	0.15	m³/h	Osmotic Pressure:			
Raw Water Flow to System	1.00	m³/h	Pass 1 Recovery	15.00	%	Feed	1.49	bar	
Feed Pressure	8.20	bar	Feed Temperature	25.0	C	Concentrate	1.74	bar	
Flow Factor	0.85		Feed TDS	2286.85	mg/l	Average	1.61	bar	
Chem. Dose (100% H2SO4)	0.00		Number of Elements	1		Average NDP	6.24	bar	
Total Active Area	7.25	M²	Average Pass 1 Flux	20.70	lmh	Power	0.28	kW	
Water Classification: Well Water SDI < 3						Specific Energy	1.90	kWh/m³	

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-4040	1	1	1.00	7.86	0.00	0.85	7.80	0.15	20.70	0.00	0.00	38.11

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	1.85	1.83	2.16	0.10	0.10
K	9.10	9.10	10.52	1.06	1.06
Na	509.40	532.01	624.28	9.18	9.18
Mg	102.00	102.00	119.86	0.78	0.78
Ca	92.50	92.50	108.70	0.69	0.69
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	1.04	1.04	1.49	0.00	0.00
HCO3	390.00	390.00	457.39	5.23	5.23
NO3	88.57	88.57	102.16	11.56	11.56
Cl	905.30	905.30	1063.51	8.79	8.79
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	148.40	148.40	174.48	0.60	0.60
SiO2	16.10	16.10	18.92	0.13	0.13
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	20.84	20.80	21.04	20.72	20.71
TDS	2264.26	2286.85	2683.45	38.11	38.11
pH	7.30	7.30	7.35	5.59	5.59

Design Warnings

-None-

Solubility Warnings

-None-

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m³/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m³/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.15	0.15	38.11	1.00	2286.85	7.86

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.30	7.30	7.35
Langelier Saturation Index	-0.22	0.22	0.41
Stiff & Davis Stability Index	0.30	0.30	0.42
Ionic Strength (Molal)	0.04	0.04	0.05
TDS (mg/l)	2264.26	2286.85	2683.45
HCO_3	390.00	390.00	457.39
CO_2	20.84	20.84	21.03
CO_3	1.04	1.04	1.49
$CaSO_4$ (% Saturation)	2.02	2.02	2.54
$BaSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	0.00	0.00	0.00
SiO_2 (% Saturation)	12.88	12.88	15.13
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.00	0.00	0.00

To balance: 22.61 mg/l Na added to feed.

APÊNDICE D

MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO MICRO/NANOFILTRAÇÃO EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO DO $N\text{-}NO_3^-$ COM AS ÁGUAS EM ESTUDO.

- **ÁGUA SOLUÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 1. Monitoramento da temperatura dos onze experimentos no sitema MF/NF.

TEMPO (min)	Tanque (°C)	$[MF]_A$ (°C)	$[MF]_C$ (°C)	$[MF]_P$ (°C)	$[NF]_C$ (°C)	$[NF]_P$ (°C)
0	25,73	25,36	25,73	26,00	26,00	26,09
10	25,55	25,64	25,82	26,18	26,36	26,36
20	25,73	25,73	25,91	26,27	26,55	26,55
30	25,82	25,91	25,91	26,27	26,55	26,55
40	25,82	25,91	26,00	26,27	26,55	26,64
50	25,82	25,91	26,00	26,36	26,55	26,73
60	25,91	25,91	26,00	26,36	26,64	26,73
70	26,09	26,00	26,09	26,45	26,82	26,73
80	26,09	26,00	26,09	26,73	26,82	26,82
90	26,18	26,00	26,18	26,82	26,82	26,82
100	26,18	26,00	26,18	26,73	26,82	26,73
110	26,18	26,00	26,36	26,73	26,73	26,73
120	26,36	26,18	26,36	26,73	26,73	26,64
MÉDIA	25,96	25,89	26,05	26,45	26,61	26,62

Legenda – $[MF]_A$: Concentração da alimentação da microfiltração, $[MF]_C$: Concentração do concentrado microfiltração; $[MF]_P$: Concentração do permeado da microfiltração $[NF]_C$: Concentração do concentrado da nanofiltração e $[NF]_A$: Concentração do permeado da nanofiltração.

Figura 1. Gráfico do comportamento da temperatura dos onze experimentos.

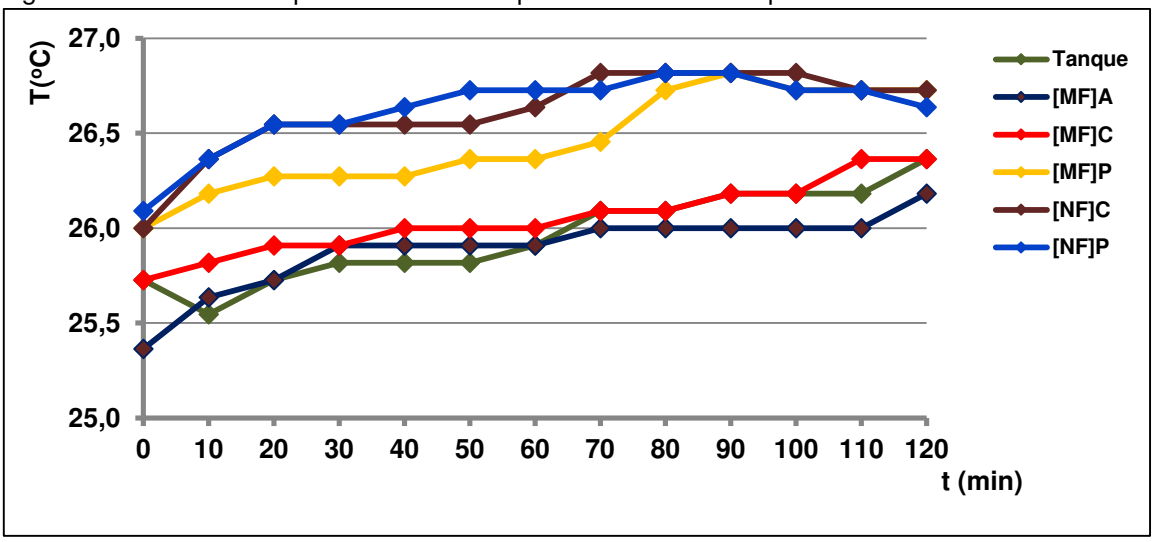
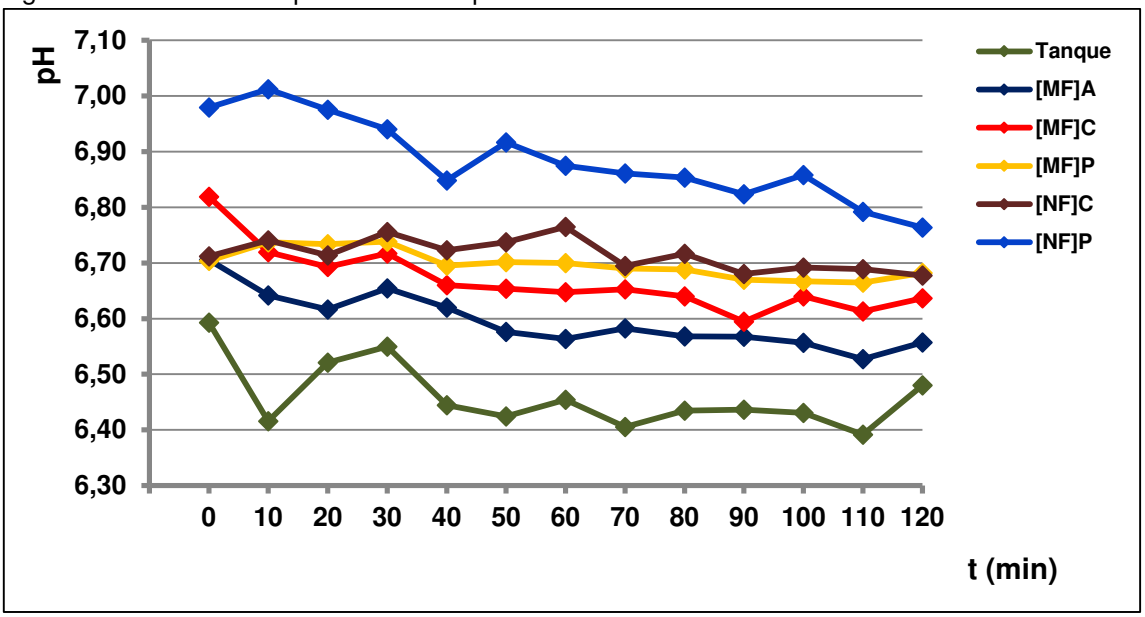


Tabela 2. Monitoramento do pH dos onze experimentos no sistema MF/NF.

TEMPO (min)	Tanque	$[MF]_A$	$[MF]_C$	$[MF]_P$	$[NF]_C$	$[NF]_P$
0	6,59	6,71	6,82	6,70	6,71	6,98
10	6,42	6,64	6,72	6,74	6,74	7,01
20	6,52	6,62	6,69	6,73	6,71	6,98
30	6,55	6,65	6,72	6,74	6,76	6,94
40	6,44	6,62	6,66	6,70	6,72	6,85
50	6,42	6,58	6,65	6,70	6,74	6,92
60	6,45	6,56	6,65	6,70	6,76	6,87
70	6,41	6,58	6,65	6,69	6,69	6,86
80	6,43	6,57	6,64	6,69	6,72	6,85
90	6,44	6,57	6,59	6,67	6,68	6,82
100	6,43	6,56	6,64	6,67	6,69	6,86
110	6,39	6,53	6,61	6,66	6,69	6,79
120	6,48	6,56	6,64	6,68	6,68	6,76
MÉDIA	6,46	6,60	6,67	6,70	6,72	6,88

Legenda – $[MF]_A$: Concentração da alimentação da microfiltração, $[MF]_C$: Concentração do concentrado microfiltração; $[MF]_P$: Concentração do permeado da microfiltração $[NF]_C$: Concentração do concentrado da nanofiltração e $[NF]_A$: Concentração do permeado da nanofiltração.

Figura 2. Gráfico do comportamento do pH das onze bateladas.



- **ÁGUA DOCE.**

Tabela 3. Monitoramento da temperatuda dos quinze experimentos no sitema MF/NF.

TEMPO (min)	Tanque (°C)	$[MF]_A$ (°C))	$[MF]_C$ (°C)	$[MF]_P$ (°C)	$[NF]_C$ (°C)	$[NF]_P$ (°C)
0	26,06	25,90	25,66	26,60	26,62	26,98
10	26,62	26,32	26,36	26,76	26,92	27,18
20	26,62	26,36	26,38	26,92	27,14	27,26
30	26,76	26,52	26,48	27,02	27,28	27,30
40	26,68	26,52	26,56	26,96	27,32	27,36
50	26,84	26,60	26,58	27,00	27,32	27,40
60	26,88	26,74	26,72	27,30	27,38	27,50
70	26,96	26,72	26,84	27,30	27,54	27,70
80	27,20	26,84	27,06	27,38	27,56	27,76
90	27,28	26,92	27,24	27,52	28,32	28,02
100	27,42	27,18	27,34	27,70	27,98	28,06
110	27,56	27,30	27,44	27,72	28,06	28,14
120	27,68	27,46	27,52	27,84	28,06	28,40
MÉDIA	26,97	26,72	26,78	27,23	27,50	27,62

Legenda – $[MF]_A$: Concentração da alimentação da microfiltração, $[MF]_C$: Concentração do concentrado microfiltração; $[MF]_P$: Concentração do permeado da microfiltração $[NF]_C$: Concentração do concentrado da nanofiltração e $[NF]_A$: Concentração do permeado da nanofiltração.

Figura 3. Gráfico da temperatura dos quinze experimentos.

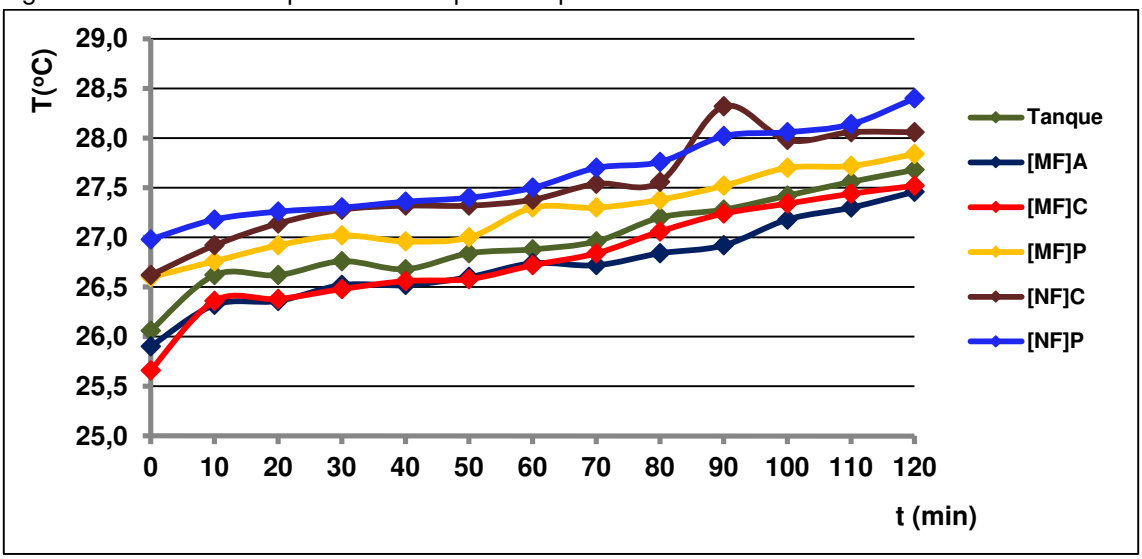
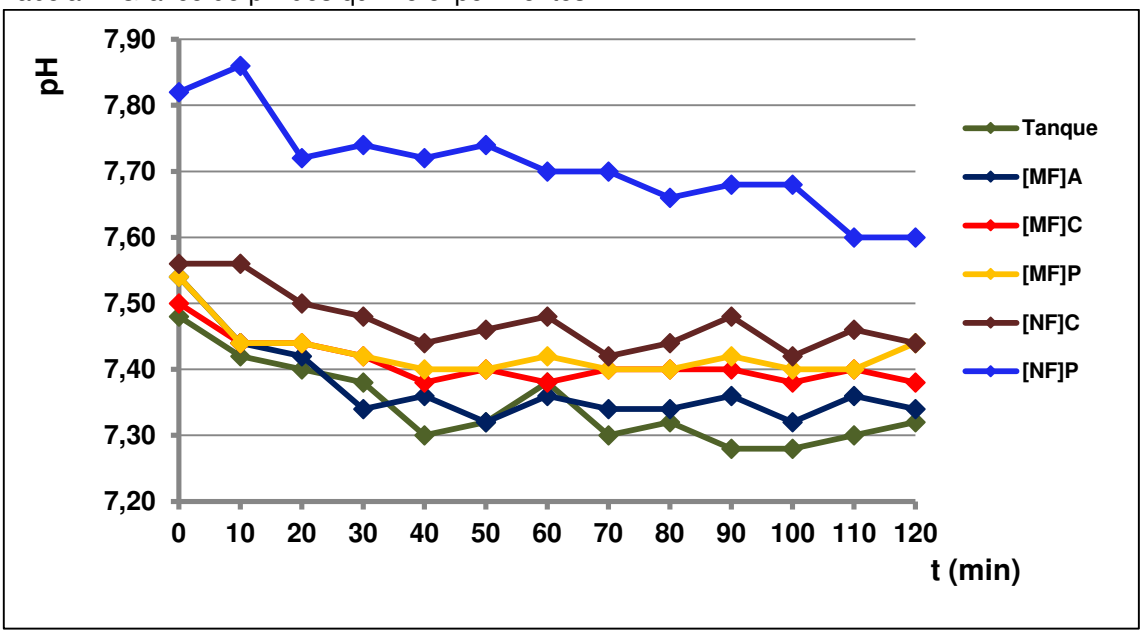


Tabela 4. Monitoramento do pH dos onze experimentos no sistema MF/NF.

TEMPO (min)	Tanque	$[MF]_A$	$[MF]_C$	$[MF]_P$	$[NF]_C$	$[NF]_P$
0	7,48	7,54	7,50	7,54	7,56	7,82
10	7,42	7,44	7,44	7,44	7,56	7,86
20	7,40	7,42	7,44	7,44	7,50	7,72
30	7,38	7,34	7,42	7,42	7,48	7,74
40	7,30	7,36	7,38	7,40	7,44	7,72
50	7,32	7,32	7,40	7,40	7,46	7,74
60	7,38	7,36	7,38	7,42	7,48	7,70
70	7,30	7,34	7,40	7,40	7,42	7,70
80	7,32	7,34	7,40	7,40	7,44	7,66
90	7,28	7,36	7,40	7,42	7,48	7,68
100	7,28	7,32	7,38	7,40	7,42	7,68
110	7,30	7,36	7,40	7,40	7,46	7,60
120	7,32	7,34	7,38	7,44	7,44	7,60
MÉDIA	7,34	7,37	7,41	7,42	7,47	7,71

Legenda – $[MF]_A$: Concentração da alimentação da microfiltração, $[MF]_C$: Concentração do concentrado microfiltração; $[MF]_P$: Concentração do permeado da microfiltração $[NF]_C$: Concentração do concentrado da nanofiltração e $[NF]_A$: Concentração do permeado da nanofiltração.

Tabela 4. Gráfico do pH dos quinze experimentos.



- **Resultado do sistema de telemetria em membrana poliméricas microfiltração/nanofiltração de uma batelada realizada no dia 28 de agosto de 2015 com uma pressão de operação de 3,2 bar.**

Data	Tempo (min.)	Cond. K(µS)	Pressão (MF) Pós - Filtro	Pressão (MF) Pré - Filtro	Pressão (NF) Alim.	Pressão (NF) Conc..	Temp. (ºC)	Vazão (NF) Conc.	Vazão (NF) Permeado
20/08/2015	**09:18:14**	95,0	1,0	0,1	0,2	1,0	24,9	0,0	0,0
20/08/2015	**09:18:59**	95,0	1,0	0,1	0,2	1,0	25,1	0,0	0,0
20/08/2015	**09:22:22**	95,0	1,0	0,1	0,2	1,0	24,9	0,0	0,0
20/08/2015	**10:21:01**	119,0	1,0	0,1	0,2	1,0	25,5	0,0	0,0
20/08/2015	**10:22:01**	47,0	1,0	1,7	1,3	1,0	25,1	14,5	0,0
20/08/2015	**10:23:01**	99,0	1,0	1,9	3,2	2,9	25,2	5,6	1,5
20/08/2015	**10:24:01**	75,0	1,0	2,0	3,7	3,4	25,4	3,6	2,0
20/08/2015	**10:25:01**	85,0	1,0	2,0	3,3	3,0	25,6	2,4	1,6
20/08/2015	**10:26:01**	94,0	1,0	2,0	3,3	3,0	25,9	2,4	1,6
20/08/2015	**10:27:01**	99,0	1,0	2,0	3,3	3,0	26,1	2,2	1,5
20/08/2015	**10:28:01**	102,0	1,0	1,9	3,2	3,0	26,3	2,2	1,6
20/08/2015	**10:29:01**	104,0	1,0	2,0	3,3	3,0	26,4	2,2	1,6
20/08/2015	**10:30:01**	103,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,5	2,2	1,6
20/08/2015	**10:31:01**	103,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,5	2,2	1,6
20/08/2015	**10:32:01**	105,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,6	2,4	1,6
20/08/2015	**10:33:01**	104,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,6	2,4	1,6
20/08/2015	**10:34:01**	104,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,7	2,4	1,6
20/08/2015	**10:35:01**	105,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,7	2,2	1,6
20/08/2015	**10:36:01**	104,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,7	2,2	1,5
20/08/2015	**10:37:01**	104,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,7	2,2	1,6
20/08/2015	**10:38:01**	105,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,8	2,2	1,6
20/08/2015	**10:39:01**	104,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,8	2,4	1,6
20/08/2015	**10:40:01**	104,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,8	2,2	1,6
20/08/2015	**10:41:01**	104,0	1,0	2,0	3,2	3,0	26,8	2,2	1,6

LEGENDA: Cond. K(µS) – Condutividade; Alim – Alimentação; Conc. – Concentrado; Temp. – Temperatura; MF – Microfiltração e NF – Nanofiltração.

- **ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 5. Monitoramento da temperatura dos quinze experimentos do sistema MF/NF.

TEMPO (min)	Tanque (°C)	$[MF]_A$ (°C))	$[MF]_C$ (°C)	$[MF]_P$ (°C)	$[NF]_C$ (°C)	$[NF]_P$ (°C)
0	28,10	28,10	28,30	28,90	29,40	29,30
10	28,10	28,10	28,30	28,90	29,40	29,30
20	28,10	28,10	28,30	28,90	29,40	29,30
30	28,10	28,10	28,30	28,90	29,40	29,30
40	28,10	28,10	28,30	28,90	29,40	29,30
50	28,10	28,10	28,30	28,90	29,40	29,30
60	28,20	28,30	28,60	28,90	29,40	29,40
70	28,60	28,60	28,90	29,00	29,40	29,40
80	28,60	28,60	29,00	29,20	29,80	29,60
90	28,60	28,70	29,10	29,40	29,90	29,60
100	28,70	28,80	29,20	29,50	30,00	29,70
110	29,00	28,90	29,30	29,60	30,10	29,90
120	29,10	29,00	29,40	29,60	30,30	30,10
MÉDIA	28,42	28,42	28,72	29,12	29,64	29,50

Legenda – $[MF]_A$: Concentração da alimentação da microfiltração, $[MF]_C$: Concentração do concentrado microfiltração; $[MF]_P$: Concentração do permeado da microfiltração $[NF]_C$: Concentração do concentrado da nanofiltração e $[NF]_A$: Concentração do permeado da nanofiltração.

Figura 5. Gráfico da temperatura dos quinze experimentos.

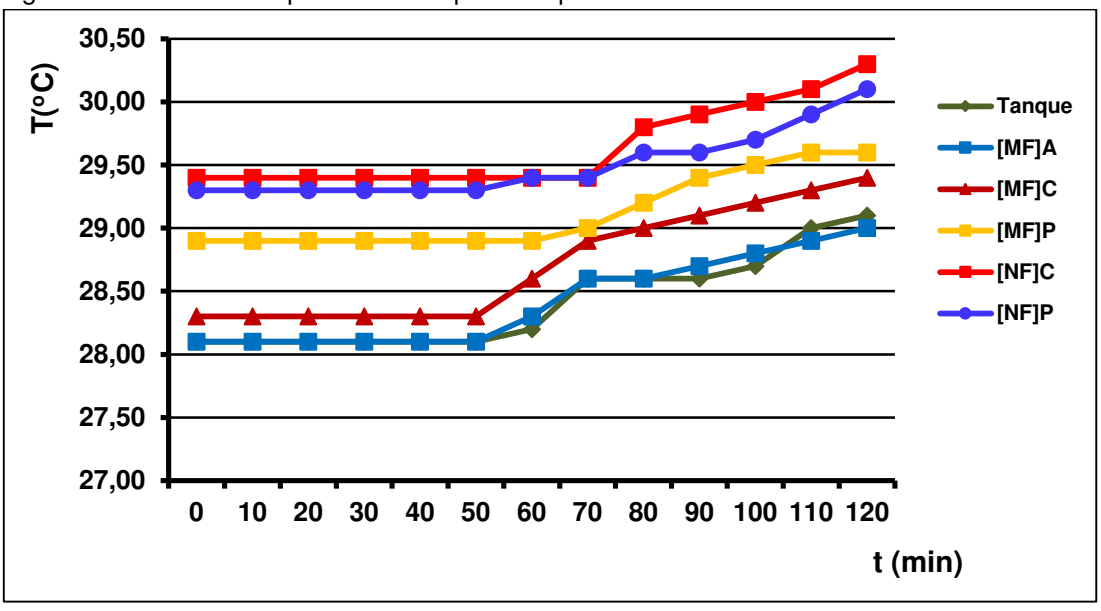
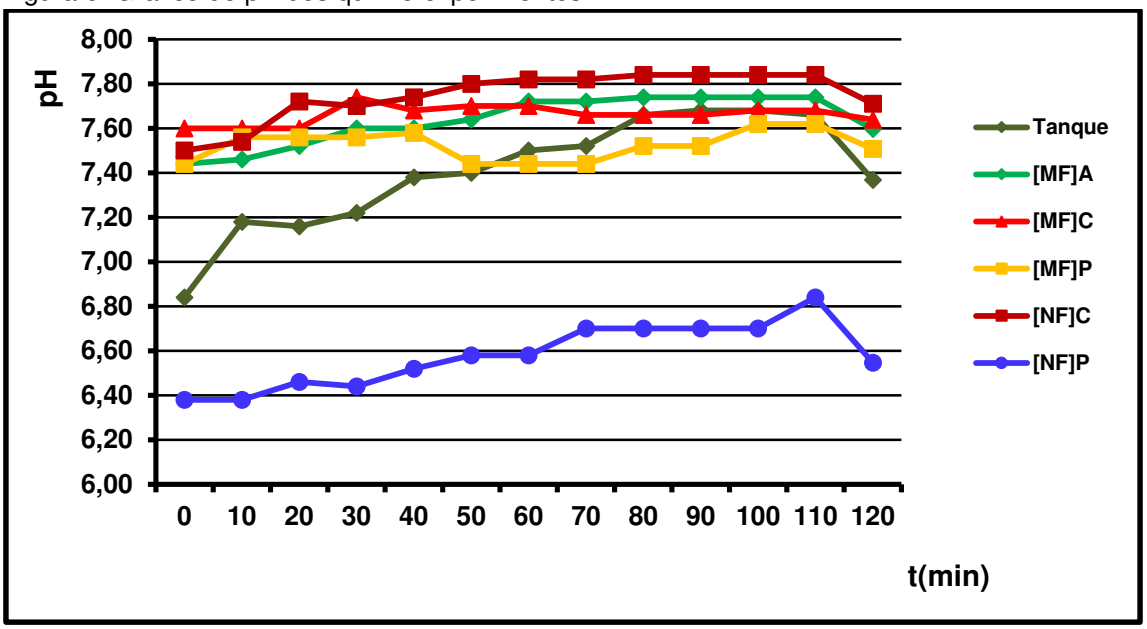


Tabela 6. Monitoramento do pH dos quinze experimentos no sistema MF/NF.

TEMPO (min)	Tanque	$[MF]_A$	$[MF]_C$	$[MF]_P$	$[NF]_C$	$[NF]_P$
0	6,84	7,44	7,60	7,44	7,50	6,38
10	7,18	7,46	7,60	7,56	7,54	6,38
20	7,16	7,52	7,60	7,56	7,72	6,46
30	7,22	7,60	7,74	7,56	7,70	6,44
40	7,38	7,60	7,68	7,58	7,74	6,52
50	7,40	7,64	7,70	7,44	7,80	6,58
60	7,50	7,72	7,70	7,44	7,82	6,58
70	7,52	7,72	7,66	7,44	7,82	6,70
80	7,66	7,74	7,66	7,52	7,84	6,70
90	7,68	7,74	7,66	7,52	7,84	6,70
100	7,68	7,74	7,68	7,62	7,84	6,70
110	7,66	7,74	7,68	7,62	7,84	6,84
120	7,37	7,60	7,64	7,51	7,71	6,55
MÉDIA	7,40	7,64	7,66	7,52	7,75	6,58

Legenda – $[MF]_A$: Concentração da alimentação da microfiltração, $[MF]_C$: Concentração do concentrado microfiltração; $[MF]_P$: Concentração do permeado da microfiltração $[NF]_C$: Concentração do concentrado da nanofiltração e $[NF]_A$: Concentração do permeado da nanofiltração.

Figura 6. Gráfico do pH dos quinze experimentos.



APÊNDICE E

MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSEINVERSA EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO DO $N\text{-}NO_3^-$ COM AS ÁGUAS EM ESTUDO.

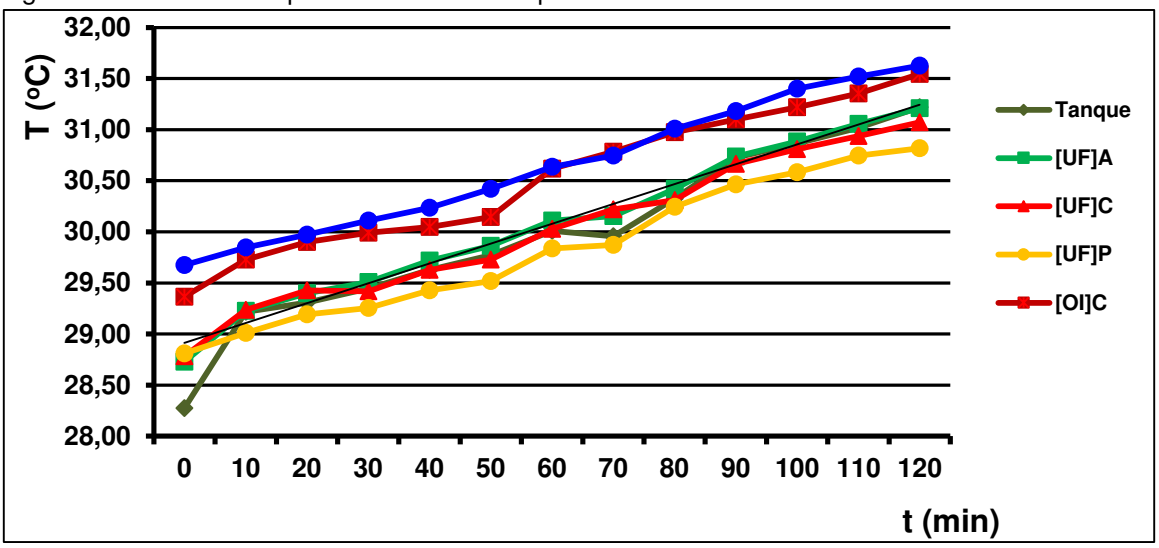
- **ÁGUA SOLUÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 1. Monitoramento da Temperatura dos onze experimentos no sistema UF/OI.

TEMPO (min)	Tanque (°C)	$[UF]_A$ (°C))	$[UF]_C$ (°C)	$[UF]_P$ (°C)	$[OI]_C$ (°C)	$[OI]_P$ (°C)
0	28,27	28,73	28,78	28,81	29,36	29,67
10	29,22	29,23	29,24	29,01	29,73	29,85
20	29,31	29,40	29,43	29,19	29,90	29,97
30	29,45	29,51	29,42	29,25	29,99	30,11
40	29,63	29,72	29,63	29,43	30,05	30,24
50	29,77	29,86	29,73	29,52	30,15	30,42
60	30,01	30,11	30,03	29,84	30,62	30,64
70	29,95	30,15	30,22	29,87	30,78	30,75
80	30,33	30,42	30,31	30,25	30,97	31,01
90	30,73	30,74	30,66	30,46	31,10	31,18
100	30,86	30,88	30,81	30,58	31,22	31,40
110	31,02	31,05	30,94	30,75	31,35	31,52
120	31,22	31,21	31,07	30,82	31,55	31,63
MÉDIA	29,98	30,08	30,02	29,83	30,52	30,64

Legenda – $[UF]_A$: Concentração da alimentação da ultrafiltração, $[UF]_C$: Concentração do concentrado ultrafiltração; $[UF]_P$: Concentração do permeado da ultrafiltração $[OI]_C$: Concentração do concentrado da osmose inversa e $[OI]_A$: Concentração do permeado da osmose inversa.

Figura 1. Gráfico da temperatura dos onze experimentos



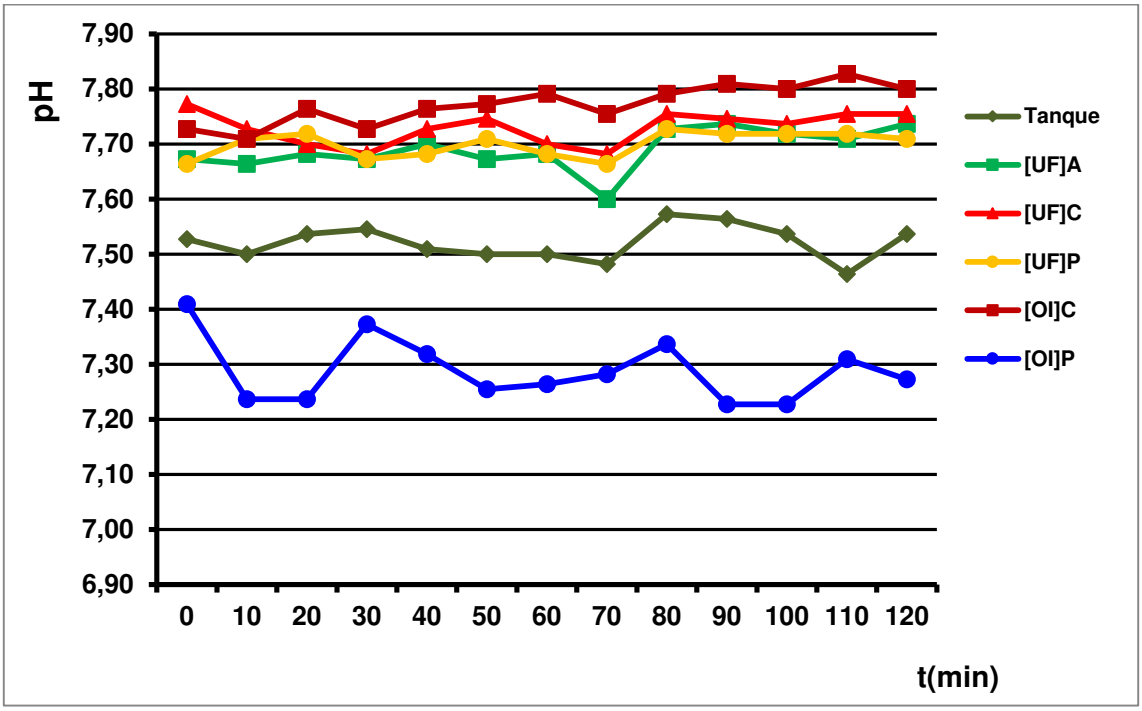
.

Tabela 2. Monitoramento do pH dos onze experimentos no sistema UF/OI.

TEMPO (min)	Tanque	$[UF]_A$	$[UF]_C$	$[UF]_P$	$[OI]_C$	$[OI]_P$
0	7,53	7,67	7,77	7,66	7,73	7,41
10	7,50	7,66	7,73	7,71	7,71	7,24
20	7,54	7,68	7,70	7,72	7,76	7,24
30	7,55	7,67	7,68	7,67	7,73	7,37
40	7,51	7,70	7,73	7,68	7,76	7,32
50	7,50	7,67	7,75	7,71	7,77	7,25
60	7,50	7,68	7,70	7,68	7,79	7,26
70	7,48	7,60	7,68	7,66	7,75	7,28
80	7,57	7,73	7,75	7,73	7,79	7,34
90	7,56	7,74	7,75	7,72	7,81	7,23
100	7,54	7,72	7,74	7,72	7,80	7,23
110	7,46	7,71	7,75	7,72	7,83	7,31
120	7,54	7,74	7,75	7,71	7,80	7,27
MÉDIA	7,52	7,69	7,73	7,70	7,77	7,29

Legenda – $[UF]_A$: Concentração da alimentação da ultrafiltração, $[UF]_C$: Concentração do concentrado ultrafiltração; $[UF]_P$: Concentração do permeado da ultrafiltração $[OI]_C$: Concentração do concentrado da osmose inversa e $[OI]_A$: Concentração do permeado da osmose inversa.

Figura 2. Gráfico do pH dos onze experimentos.



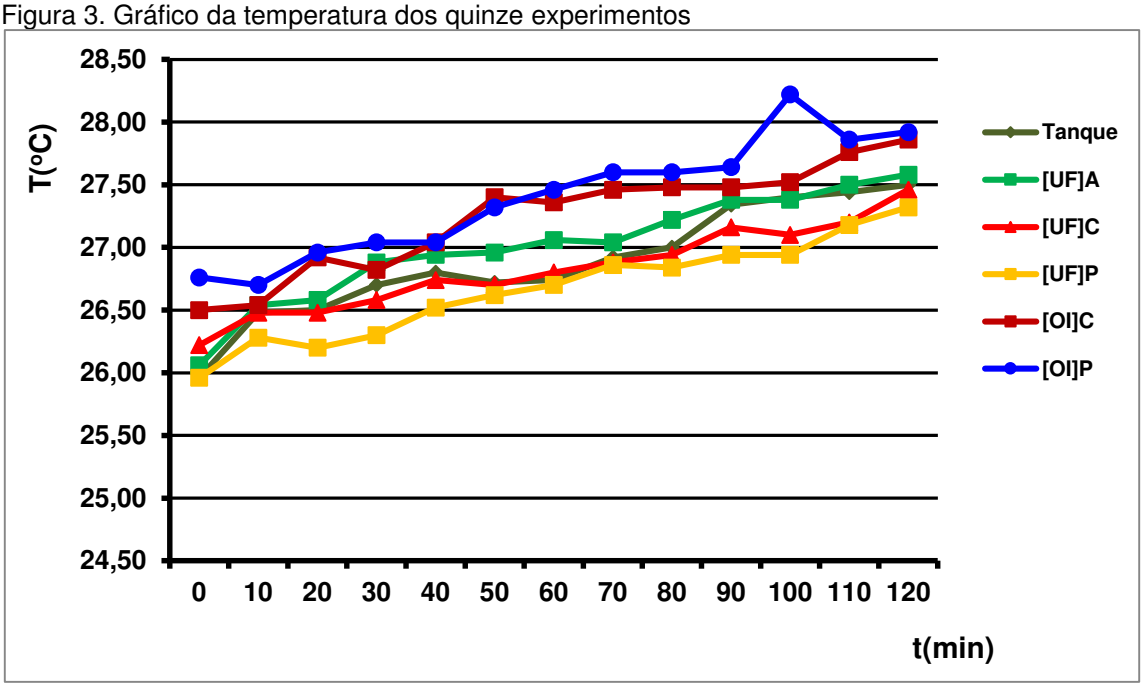
- **ÁGUA DOCE.**

Tabela 3. Monitoramento da temperatura dos quinze experimentos no sistema UF/OI.

TEMPO (min)	Tanque (°C)	$[UF]_A$ (°C))	$[UF]_C$ (°C)	$[UF]_P$ (°C)	$[OI]_C$ (°C)	$[OI]_P$ (°C)
0	25,96	26,06	26,22	25,96	26,50	26,76
10	26,48	26,54	26,48	26,28	26,54	26,70
20	26,50	26,58	26,48	26,20	26,92	26,96
30	26,70	26,88	26,58	26,30	26,82	27,04
40	26,80	26,94	26,74	26,52	27,04	27,04
50	26,72	26,96	26,70	26,62	27,40	27,32
60	26,74	27,06	26,80	26,70	27,36	27,46
70	26,92	27,04	26,88	26,86	27,46	27,60
80	27,00	27,22	26,94	26,84	27,48	27,60
90	27,34	27,38	27,16	26,94	27,48	27,64
100	27,40	27,38	27,10	26,94	27,52	28,22
110	27,44	27,50	27,20	27,18	27,76	27,86
120	27,50	27,58	27,46	27,32	27,86	27,92
MÉDIA	26,88	27,01	26,83	26,67	27,24	27,39

Legenda – $[UF]_A$: Concentração da alimentação da ultrafiltração, $[UF]_C$: Concentração do concentrado ultrafiltração; $[UF]_P$: Concentração do permeado da ultrafiltração $[OI]_C$: Concentração do concentrado da osmose inversa e $[OI]_A$: Concentração do permeado da osmose inversa.

Figura 3. Gráfico da temperatura dos quinze experimentos



.

Tabela 4. Monitoramento do pH dos quinze experimentos no sistema UF/OI.

TEMPO (min)	Tanque	$[UF]_A$	$[UF]_C$	$[UF]_P$	$[OI]_C$	$[OI]_P$
0	7,42	7,42	7,48	7,40	7,44	7,78
10	7,18	7,26	7,30	7,30	7,30	7,80
20	7,04	7,20	7,30	7,28	7,38	7,72
30	7,14	7,24	7,30	7,36	7,40	7,84
40	7,10	7,20	7,30	7,34	7,38	7,72
50	7,10	7,16	7,18	7,26	7,30	7,72
60	7,14	7,26	7,34	7,36	7,34	7,74
70	7,06	7,18	7,28	7,30	7,30	7,74
80	7,10	7,22	7,28	7,32	7,30	7,56
90	7,10	7,18	7,32	7,32	7,30	7,56
100	7,08	7,18	7,26	7,32	7,34	7,70
110	7,00	7,18	7,26	7,32	7,30	7,74
120	7,08	7,22	7,32	7,34	7,34	7,54
MÉDIA	7,12	7,22	7,30	7,32	7,34	7,70

Legenda – $[UF]_A$: Concentração da alimentação da ultrafiltração, $[UF]_C$: Concentração do concentrado ultrafiltração; $[UF]_P$: Concentração do permeado da ultrafiltração $[OI]_C$: Concentração do concentrado da osmose inversa e $[OI]_A$: Concentração do permeado da osmose inversa.

Figura 4. Gráfico do pH dos quinze experimentos.

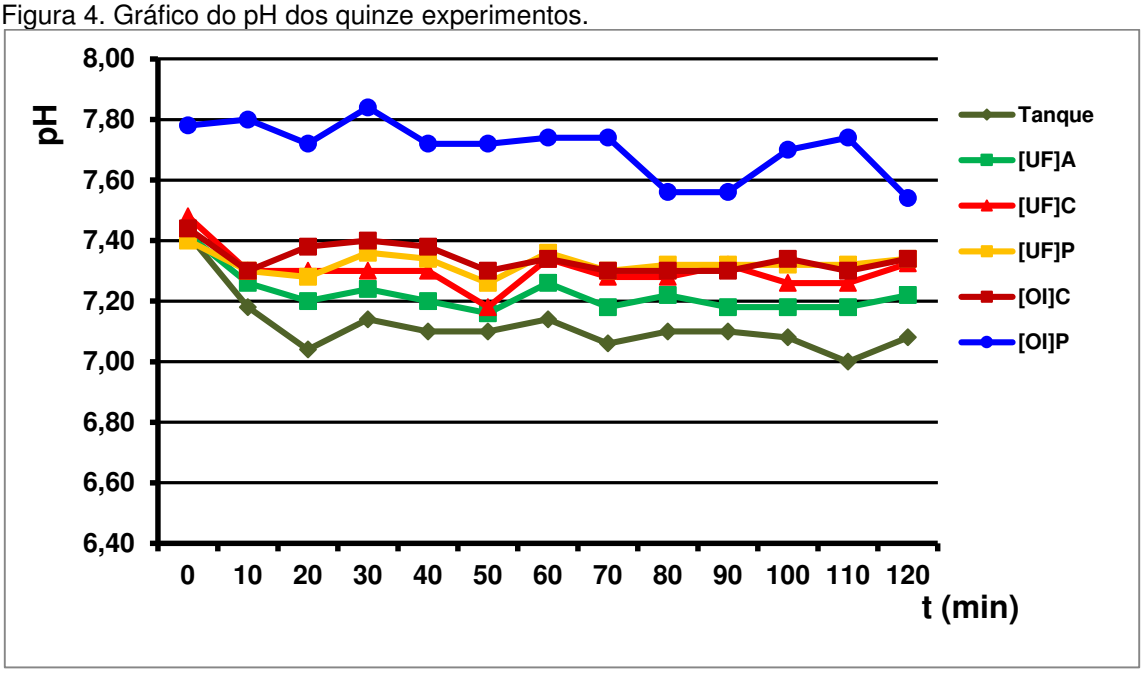
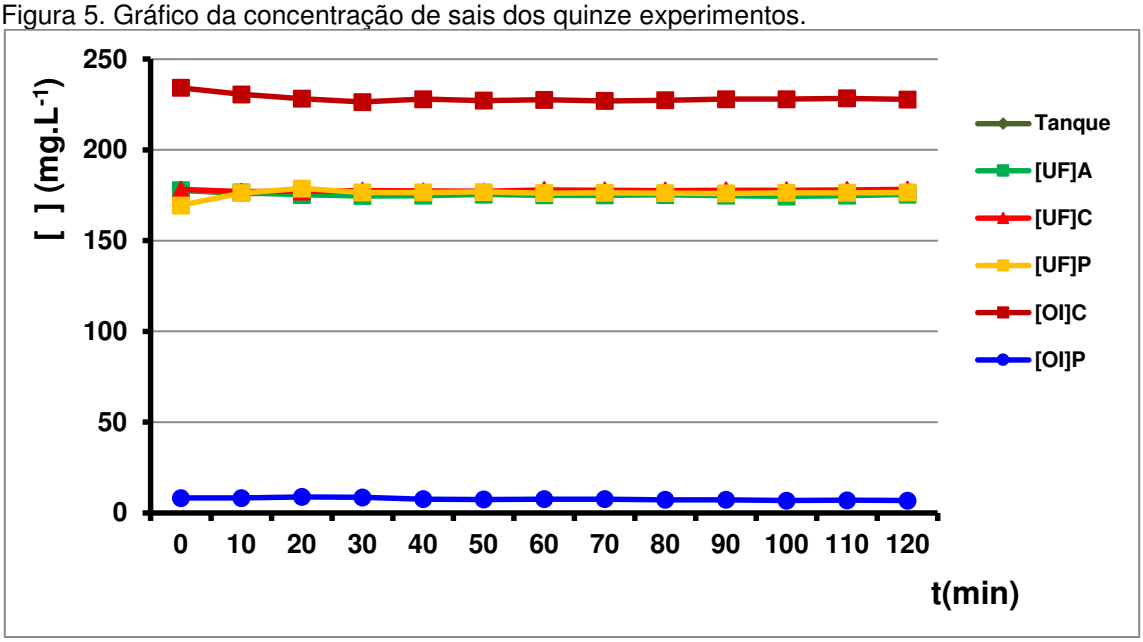


Tabela 5. Monitoramento da concentração de sais dos quinze experimentos no sistema UF/OI.

TEMPO (min)	Tanque ($mg.L^{-1}$)	$[UF]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[UF]_C$ ($mg.L^{-1}$)	$[UF]_P$ ($mg.L^{-1}$)	$[OI]_C$ ($mg.L^{-1}$)	$[OI]_P$ ($mg.L^{-1}$)	R[OI]%
0	177,80	177,80	178,20	169,40	234,20	8,20	95,16
10	176,00	176,60	177,00	176,20	230,60	8,20	95,35
20	176,00	175,20	177,20	178,80	228,20	8,80	95,08
30	176,40	174,60	177,60	176,60	226,40	8,60	95,13
40	176,20	174,80	177,40	176,60	228,00	7,60	95,70
50	176,40	175,40	177,20	176,80	227,20	7,40	95,81
60	176,40	175,00	178,00	176,20	227,60	7,60	95,69
70	176,40	175,00	177,80	176,40	227,00	7,60	95,69
80	176,60	175,20	177,60	176,20	227,40	7,20	95,91
90	176,40	174,80	177,80	176,00	228,00	7,20	95,91
100	176,40	174,40	177,80	176,40	228,00	6,80	96,15
110	177,00	174,80	178,00	176,40	228,40	7,00	96,03
120	177,00	175,40	178,20	176,60	227,80	6,80	96,15
MÉDIA	176,54	175,31	177,68	176,05	228,37	7,62	95,67

Legenda – $[UF]_A$: Concentração da alimentação da ultrafiltração, $[UF]_C$: Concentração do concentrado ultrafiltração; $[UF]_P$: Concentração do permeado da ultrafiltração $[OI]_C$: Concentração do concentrado da osmose inversa; $[OI]_A$: Concentração do permeado da osmose inversa e R[OI]%: Taxa de rejeição da osmose inversa.

Figura 5. Gráfico da concentração de sais dos quinze experimentos.



- **ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 6. Monitoramento da temperatura dos quinze experimentos no sistema UF/OI.

TEMPO (min)	Tanque (°C)	$[UF]_A$ (°C))	$[UF]_C$ (°C)	$[UF]_P$ (°C)	$[OI]_C$ (°C)	$[OI]_P$ (°C)
0	31,10	30,80	30,70	30,20	34,00	34,10
10	31,10	31,20	31,00	30,10	33,50	33,90
20	31,20	31,30	31,40	30,60	33,80	34,00
30	31,10	31,40	31,50	30,70	33,80	34,10
40	31,40	31,40	31,70	30,80	33,90	34,10
50	31,50	31,40	31,70	30,90	33,90	34,10
60	31,60	31,60	31,70	30,90	34,10	34,10
70	31,70	31,70	31,80	30,90	34,10	34,10
80	31,70	31,70	31,90	30,90	34,30	34,10
90	31,70	31,70	31,90	31,00	34,40	34,10
100	31,90	31,80	32,10	31,00	34,40	34,10
110	31,90	31,80	32,20	31,00	34,40	34,40
120	31,90	31,80	32,20	31,00	34,40	34,40

Legenda – $[UF]_A$: Concentração da alimentação da ultrafiltração, $[UF]_C$: Concentração do concentrado ultrafiltração; $[UF]_P$: Concentração do permeado da ultrafiltração $[OI]_C$: Concentração do concentrado da osmose inversa e $[OI]_A$: Concentração do permeado da osmose inversa.

Figura 6. Gráfico da temperatura dos quinze experimentos.

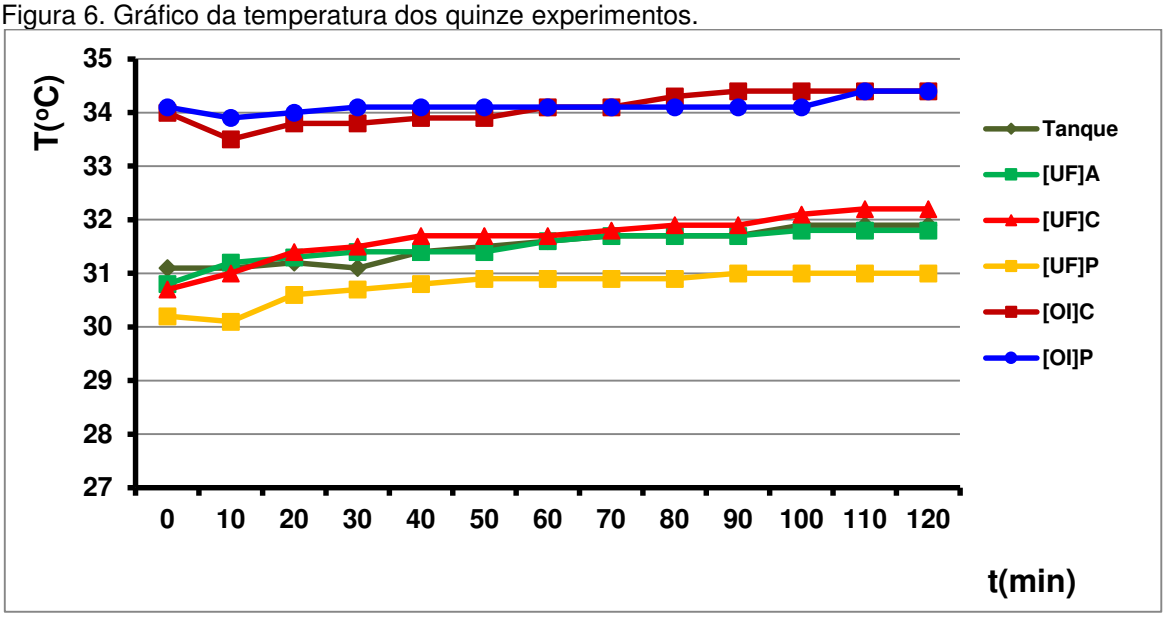
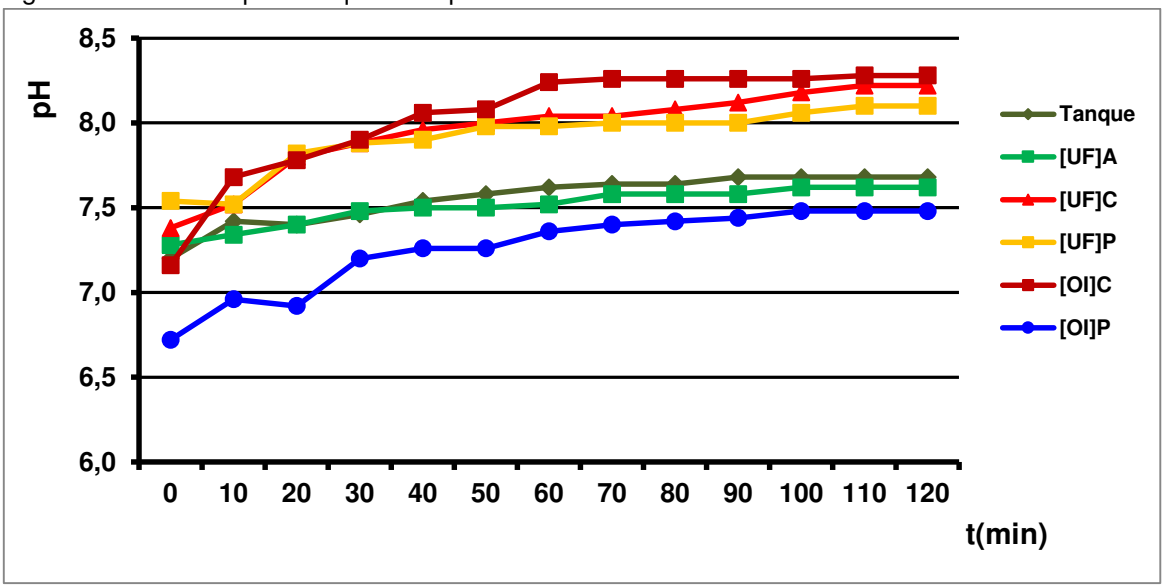


Tabela 7. Monitoramento do pH dos quinze experimentos no sistema UF/OI.

TEMPO (min)	Tanque	$[UF]_A$	$[UF]_C$	$[UF]_P$	$[OI]_C$	$[OI]_P$
0	7,20	7,28	7,38	7,54	7,16	6,72
10	7,42	7,34	7,52	7,52	7,68	6,96
20	7,40	7,40	7,80	7,82	7,78	6,92
30	7,46	7,48	7,88	7,88	7,90	7,20
40	7,54	7,50	7,96	7,90	8,06	7,26
50	7,58	7,50	8,00	7,98	8,08	7,26
60	7,62	7,52	8,04	7,98	8,24	7,36
70	7,64	7,58	8,04	8,00	8,26	7,40
80	7,64	7,58	8,08	8,00	8,26	7,42
90	7,68	7,58	8,12	8,00	8,26	7,44
100	7,68	7,62	8,18	8,06	8,26	7,48
110	7,68	7,62	8,22	8,10	8,28	7,48
120	7,68	7,62	8,22	8,10	8,28	7,48
MÉDIA	7,56	7,51	7,96	7,91	8,04	7,26

Legenda – $[UF]_A$: Concentração da alimentação da ultrafiltração, $[UF]_C$: Concentração do concentrado ultrafiltração; $[UF]_P$: Concentração do permeado da ultrafiltração $[OI]_C$: Concentração do concentrado da osmose inversa e $[OI]_A$: Concentração do permeado da osmose inversa.

Figura 7. Gráfico do pH dos quinze experimentos.



APÊNDICE F

MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO MICRO/NANOFILTRAÇÃO EM RELAÇÃO AO FLUXO (J_V), RECUPERAÇÃO (R%), VAZÃO (Q).

- **SOLUÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 1. Valores médios do fluxo, da recuperação, pressão de operação do sistema e a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema.

$[N\text{-}NO_3^-]$ $(mg.L^{-1})$	P (bar)	r% [NF]	$J_v \times 10^{-2}$ $(m^3.m^2.h^{-1})$
12,00	1,51	10,00	1,0
4,00	2,00	39,62	1,0
20,00	2,00	14,29	1,0
0,67	3,20	39,62	2,0
23,30	3,20	19,64	2,0
12,00	3,20	19,64	2,0
20,00	4,35	26,23	3,0
4,00	4,35	44,44	3,0
12,00	4,84	26,23	3,0

- **ÁGUA DOCE.**

Tabela 2. Valores médios do fluxo, da recuperação, pressão de operação do sistema e a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema.

$[N\text{-}NO_3^-]$ $(mg.L^{-1})$	**P (bar)**	**r% [NF]**	**$J_v \times 10^{-2}$ $(m^3.m^2.h^{-1})$**
20,80	1,51	7,67	1,0
20,80	2,00	31,91	1,0
20,80	3,20	45,65	2,0
20,80	4,35	37,50	2,0
20,80	4,84	53,33	3,0

- **ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 3. Valores médios do fluxo, da recuperação, pressão de operação do sistema e a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema.

$[N\text{-}NO_3^-]$ $(mg.L^{-1})$	P (bar)	r% [NF]	$J_v \times 10^{-2}$ $(m^3.m^2.h^{-1})$
20,80	1,51	7,67	1,0
20,80	2,00	31,91	2,0
20,80	3,20	45,65	2,0
20,80	4,35	37,50	3,0
20,80	4,84	53,33	3,0

APÊNDICE G

MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DO TIPO ULTRAFILTRAÇÃO/OSMOSE INVERSA EM RELAÇÃO AO FLUXO (J_V), RECUPERAÇÃO (R%), VAZÃO (Q).

- **SOLUÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 1**.** Valores médios do fluxo, da recuperação, pressão de operação do sistema e a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema.

$[N\text{-}NO_3^-]$ $(mg.L^{-1})$	P (bar)	**r% [OI]**	**$J_v \times 10^{-2}$ $(m^3.m^2.h^{-1})$**
12,00	3,24	9,09	2,0
4,00	5,00	45,45	3,0
20,00	5,00	11,24	3,0
0,67	9,25	45,45	4,0
23,30	9,25	20,69	5,0
12,00	15,26	45,45	7,0
20,00	13,50	37,22	7,0
4,00	13,50	66,67	7,0
12,00	9,25	58,90	5,0

- **ÁGUA DOCE.**

Tabela 2**.** Valores médios do fluxo, da recuperação, pressão de operação do sistema e a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema.

$[N\text{-}NO_3^-]$ $(mg.L^{-1})$	**P (bar)**	**r% [OI]**	**$J_v \times 10^{-2}$ $(m^3.m^2.h^{-1})$**
20,80	3,24	19,05	2,0
20,80	5,00	28,57	3,0
20,80	9,25	33,33	4,0
20,80	13,50	37,50	5,0
20,80	15,26	66,67	7,0

.

- **ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO.**

Tabela 3**.** Valores médios do fluxo, da recuperação, pressão de operação do sistema e a concentração do $N\text{-}NO_3^-$ da alimentação do sistema.

$[N\text{-}NO_3^-]$ $(mg.L^{-1})$	**P (bar)**	**r% [OI]**	**$J_v \times 10^{-2}$ $(m^3.m^2.h^{-1})$**
20,80	3,24	19,19	2,0
20,80	5,00	33,33	3,0
20,80	9,25	35,34	4,0
20,80	13,50	36,36	5,0
20,80	15,26	67,80	7,0

APÊNDICE H
MÉTODOS ANALÍTICOS PARA AS ANÁLISES FÍSICAS QUÍMICAS.

- Método de adição de $NaNO_3$.
  Meio aquoso: Água dessalinizada.
  - Toma-se 4,06 g, 24,29 g, 72,86 g, 121,43 g e 141,46 g de $NaNO_3$ do tipo PA (Synth) o qual foi diluído cada massa em 1 L de água dessalinizada.
- Meio aquoso: Águas doce e salobra.
  - Toma-se 126,29 g de $NaNO_3$ também do tipo PA (Synth) o qual foi diluído em 1 L de água dessalinizada.
- Análise de $N\text{-}NO_3^-$.

Os procedimentos analíticos realizados no LABDES para análise das amostras de água tomaram como referência os métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastwater*, 2010.

- PARÂMETROS FÍSICOS

  - COR

Para medições de cor foi utilizado um colorímetro com disco de cor, onde existe um tubo de ensaio para a prova em branco com água destilada em paralelo com o tubo de ensaio com a amostra a ser comparada com a água destilada que é um referencial marcando cor igual a zero. O alcance deste aparelho é de 0 a 250 Unidade Hazen (mg Pt–Co/L). De acordo com a portaria 2914/2011do Ministério da Saúde o valor máximo permissível para cor em amostras de água é de 15(mg Pt–Co/L).

  - TURBIDEZ

As análises para as determinações de turbidez foram feitas em um turbidímetro, onde a amostra a ser analisada é colocada nas cubetas, o alcance deste equipamento varia entre 0 e 1000 UT (unidade de turbidez). Os padrões permissíveis da portaria 2914/2011 para potabilidade humana recomendam águas com turbidez até 5UT.

- CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

O método baseia-se na utilização instrumental do condutivímetro, inicialmente o equipamento foi calibrado com a solução de KCl 1412µMHO/cm 25°C em seguida foi lavada a célula com água deionizada e retirado o excesso de água com papel absorvente e por fim foram medidas as condutividades elétricas das amostras.

- PARÂMETROS QUÍMICOS

- PH

Realizado pelo método potenciométrico. Antes do uso o eletrodo foi lavado com água deionizada e o excesso absorvido com papel absorvente em seguida foi feito a calibração do equipamento com soluções tampões pH 7.0 e 4.0, a calibração termina em torno do 95%, deve-se enxaguar com água deionizada antes de imergir o eletrodo nas soluções e por fim mediu-se o pH das amostras. O pHmetro utilizado foi digital PG 2000 GEHAKA.

- DUREZA EM CÁLCIO (CA^{2+}) E MAGNÉSIO (MG^{2+})

Feitas a partir do método titulométrico de complexação do EDTA. Na análise do cálcio utilizou-se soluções de: EDTA (0,025N), NAOH (1N) e como indicador a murexida. Inicialmente tomou-se 25 mL das amostras, introduziu-se 1mL do NaOH 1N, para ajustar o pH entre 12 e 13, em seguida adicionou-se o indicador de murexida obtendo uma coloração róseo claro e após titular lentamente com o EDTA 0,025N obteve-se uma mudança na coloração de róseo para lilás. Na determinação do magnésio utilizou-se soluções de EDTA (0,025N), solução tampão pH 10 e como indicador o negro de eriocromo-T.

Tomou-se 25mL das amostras adicionadas de 2mL da solução tampão pH 10 e uma pequena porção do indicador de eriocromo aparecendo a coloração vinho, com a titulação do EDTA 0,025N o ponto final indicou uma mudança de cor do vinho para azul.

O volume gasto de EDTA utilizado na determinação de magnésio deve ser o volume total gasto na titulação menos o volume de EDTA gasto na determinação do cálcio, pois o indicador de eriocromo indica a presença de cálcio+magnésio.

- CLORETO (CL^-)

Foi realizado pelo método argentimétrico (método de Mohr), onde durante a titulação os íons cloretos são precipitados na forma de cloreto de prata utilizando cromato de potássio como indicador do ponto final da reação. Na execução do método tomou-se alíquotas de 25mL, ajustou-se o pH para que fique em torno de 6,5 a 10, introduziu-se 3 gotas da solução indicadora de cromato de potássio, onde foi titulada em seguida sob agitação constante com a solução padrão de nitrato de prata.

- ALCALINIDADE

Para a determinação dos componentes da alcalinidade foi utilizado o método titulométrico de neutralização utilizado como titulante o ácido sulfúrico 0,02N e como indicador para carbonatos, a fenolftaleína e para bicarbonatos o alaranjado de metila, inicialmente tomou-se alíquotas de 25mL das amostras e adicionou-se 3 gotas da fenolftaleína, com a aparição da cor rosa o ponto final da titulação foi observado com o descoloramento do indicador. Nesta mesma solução adicionou-se 3 gotas do alaranjado de metila e o ponto final foi observado pela mudança de coloração de amarelo para laranja avermelhado.

- SÍLICA

A sílica foi avaliada por análises colorimétricas.A um pH de aproximadamente 1,2 o molibidato de amônio reage com silicato e qualquer fosfato presente, produzindo ácido molibdosilícico e ácido molibdofosfórico. Adicionou-se ácido oxálico para eliminar o ácido molibdofosfórico, restando o ácido molibdosilícico de cor amarelada, cuja intensidade corresponde à concentração de sílica na amostra.

Os reagentes descritos acima correspondem ao SI-S1 e SI-S2, reagentes utilizados na execução do método onde: adicionou-se 20 gotas do SI-S1 em 10 mL da amostra numa cubeta do Smart Colorímetro agitar e aguardar 5 minutos posteriormente 4 gotas do S1-S2 agitar, aguardar 1 minuto e realizar a leitura.

- FERRO TOTAL

Método realizado por análises colorimétricas tem como princípio a formação de um complexo róseo entre os sais de ferro (II) com ferro espectral. Os cátions de ferro (III) são reduzidos no meio reacional, apresentando resposta igual aos cátions de ferro (III). O pH ideal da reação é de 3,0 a 7,5, tornando-se inconveniente leituras em soluções com pH>>8,0. Em soluções mais ácidas é necessária a adição de mais uma gota do reagente colorimétrico para que o desenvolvimento da reação seja satisfatório. Colocar numa cubeta do Colorímetro 10mL da amostra, adicionar 2 gotas do reagente FE-S1 na cubeta com a amostra, agitar levemente e aguardar 5 minutos até que a leitura seja realizada.

- SULFATO

O sulfato foi determinado pelo método espectrofotométrico. O comprimento de onda utilizado foi 420nm, a solução tampão acética “A” serviu para amostras com concentrações de sulfatos elevadas necessitando de diluições e a solução acética “B” serviu para amostras com concentrações de sulfato baixíssimas, uma vez que a solução “B” possui uma pequena quantidade de sulfato.

Tomou-se 50mL das amostras e sob agitação durante um minuto, adicionamos 10mL da solução acética com aproximadamente 0,5g de cloreto de bário, em seguida transferiu-se uma porção para uma cubeta e realizou-se a leitura da absorbância, procedeu-se do mesmo modo para a prova em branco.

- NITRATO

O método se baseia na redução de nitrato presente na amostra a nitrito. O nitrito é então determinado pela formação de um azo corante, por copulação entre ácido sulfanilico diazotado e dicloridrato de N-(1 naftyl)-etilenodiamina, em um pH entre 2,0 e 2,5. Foi transferido 10mL de amostra na cubeta onde adicionou-se: 4 gotas de NTA-S1 com agitação, 2 gotas de NTA-S2 e aguardamos 5 minutos para adicionar 5 gotas de NTA-S3 agitando e esperando 5 minutos, por fim foram adicionados 4 gotas do NTA-S4 com vigorosa agitação após 15 minutos foi feita a leitura no Smart colorímetro.

- NITRITO

Assim como acontece com o nitrato, o nitrito é determinado pela formação de um azo corante, por copulação entre ácido sulfanilico diazotado e dicloridrato de N-(1 naftyl)-etilenodiamina, em um pH entre 2,0 e 2,5.

Como o ácido sulfanílico diazotado é gerado no meio por reação entre o ácido sulfanílico adicionado e o nitrito presente na amostra, a intensidade da coloração final depende da concentração de nitrito na amostra.

- AMÔNIA

O método colorimétrico baseia-se na reação entre o cátion NH_4^+ e o complexo$(\mathbf{HgI_4})^{2-}$: $\mathbf{NH_4}^{1+} + \mathbf{2}(\mathbf{HgI_4})^{2-} + \mathbf{4OH}^{1-} \rightarrow \mathbf{HgO.Hg(NH_2)I} \downarrow + \mathbf{7I}^{1-} + \mathbf{3\ H_2O}$, o amidiodeto básico de mercúrio formado leva a uma coloração entre amarela e marrom, consoante a concentração de amônia envolvida. Com o passar do tempo o composto agrega em cristais e precipita. O procedimento da análise foi 10mL das amostras e 4 gotas do reagente AM-S1 com espera de 30 minutos antes da leitura. Proceder da mesma forma para a prova em branco.

- ALUMÍNIO

A metodologia empregada para as determinações de alumínio foi a colorimétrica, com a ajuda de pipetas volumétricas transferiu-se 5mL para a cubeta do Smart, adicionou 0,2mL de ácido sulfúrico 1mL da solução de eriocromo cianina 0,02N sob agitação, 0,2mL da solução de ácido ascórbico, 2mL da solução tampão de acetato de sódio e ácido acético e foi aguardado 10 minutos para a leitura no Smart Colorímetro.

- SÓDIO E POTÁSSIO

A técnica de fotometria de chama foi a empregada para realizar as determinações de sódio e potássio nesse caso, as amostras contendo esses cátions metálicos são inseridas em uma chama e analisada pela quantidade de radiação emitida pelas espécies iônicas excitadas.. Para calibração do equipamento foi colocada no atomizador a solução de calibração que contem as concentrações de Na^+ 140meq/L e K^+ 5meq/L e a amostra referencial, água deionizada com condutividade elétrica em torno de 0,5µMHO/cm. Após estabilização da calibração foram feitas as leituras das amostras.

APÊNDICE I

A ANÁLISES DE CONFIABILIDADE DOS MODELOS ENCONTRADOS NOS SISTEMA DE MEMBRANAS MF/NF E UF/OI PARA A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO N-NO_3^-.

SOLUÇÃO DE NITRATO

Tabela 1. Resultado da análise de confiabilidade do modelo em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do Sistema de membranas MF/NF.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Experimental, X, Observado	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Modelo, Y, Estimado
3,2	0,68	0,39	-0,19
2,0	4	2,79	3,29
4,35	4	2,13	2,47
1,51	12	8,72	8,29
3,2	12	5,54	5,89
3,2	12	6,07	5,89
3,2	12	6,11	5,89
4,84	12	6,84	7,13
2,0	20	9,21	9,34
4,35	20	9,26	8,52
3,2	23,3	7,97	8,37

Tabela 2. Resultado da análise de confiabilidade do modelo em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do Sistema de membranas UF/OI.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Experimental, X, Observado	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Modelo, Y, Estimado
9,25	0,68	0,04	0,20
5,0	4	1,44	1,16
13,5	4	0,26	0,35
3,24	12	3,32	3,56
9,25	12	1,65	1,60
9,25	12	1,66	1,60
9,25	12	1,64	1,60
15,26	12	1,41	1,16
5,0	20	5,98	5,65
13,5	20	3,06	3,07
9,25	23,3	5,56	5,30

ÁGUA DOCE

Tabela 3. Resultado da análise de confiabilidade do modelo em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do Sistema de membranas MF/NF.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Experimental, X, Observado	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Modelo, Y, Estimado
1,51	20,8	16,30	15,99
1,51	20,8	16,31	15,99
1,51	20,8	16,32	15,99
2,0	20,8	13,36	13,91
2,0	20,8	13,37	13,91
2,0	20,8	13,38	13,91
3,2	20,8	9,63	10,04
3,2	20,8	9,64	10,04
3,2	20,8	9,65	10,04
4,35	20,8	7,96	7,97
4,35	20,8	7,97	7,97
4,35	20,8	7,98	7,97
4,84	20,8	7,50	7,57
4,84	20,8	7,51	7,57
4,84	20,8	7,52	7,57

Tabela 4. Resultado da análise de confiabilidade do modelo em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do Sistema de membranas UF/OI.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Experimental, X, Observado	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Modelo, Y, Estimado
3,24	20,8	3,33	3,12
3,24	20,8	3,36	3,12
3,24	20,8	3,38	3,12
5,0	20,8	2,28	2,69
5,0	20,8	2,29	2,69
5,0	20,8	2,31	2,69
9,25	20,8	2,11	1,95
9,25	20,8	2,13	1,95
9,25	20,8	2,12	1,95
13,5	20,8	1,69	1,66
13,5	20,8	1,7	1,66
13,5	20,8	1,71	1,66
15,26	20,8	1,59	1,67
15,26	20,8	1,6	1,67
15,26	20,8	1,62	1,67

ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA REDE DO LABDES COM ADIÇÃO DE NITRATO

Tabela 5. Resultado da análise de confiabilidade do modelo em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do Sistema de membranas MF/NF.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Experimental, X, Observado	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Modelo, Y, Estimado
1,51	20,8	19,12	19,40
1,51	20,8	19,13	19,40
1,51	20,8	19,14	19,40
2,0	20,8	17,3	16,86
2,0	20,8	17,31	16,86
2,0	20,8	17,32	16,86
3,2	20,8	11,8	12,08
3,2	20,8	11,81	12,08
3,2	20,8	11,82	12,08
4,35	20,8	9,45	9,40
4,35	20,8	9,46	9,40
4,35	20,8	9,47	9,40
4,84	20,8	8,83	8,83
4,84	20,8	8,84	8,83
4,84	20,8	8,85	8,83

Tabela 6. Resultado da análise de confiabilidade do modelo em relação à redução da concentração do $N\text{-}NO_3^-$ no permeado do Sistema de membranas UF/OI.

P (bar)	$[N\text{-}NO_3^-]_A$ ($mg.L^{-1}$)	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Experimental, X, Observado	$[N\text{-}NO_3^-]_P$ ($mg.L^{-1}$) Modelo, Y, Estimado
3,24	20,8	4,2	4,53
3,24	20,8	4,6	4,53
3,24	20,8	4,8	4,53
5,0	20,8	3,5	3,69
5,0	20,8	3,8	3,69
5,0	20,8	3,9	3,69
9,25	20,8	1,8	2,31
9,25	20,8	2,2	2,31
9,25	20,8	2,5	2,31
13,5	20,8	1,9	1,82
13,5	20,8	2	1,82
13,5	20,8	2,3	1,82
15,26	20,8	1,5	1,88
15,26	20,8	1,8	1,88
15,26	20,8	1,9	1,88