



**PROJETO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA PCT BRA/IICA/14/001** de “Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate à Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)”.

Relatório Técnico contendo proposta de documento com estudo dos potenciais de incrustação para as membranas de osmose inversa e de dimensionamento de dessalinizadores em função da composição físico-química de águas provenientes de poços onde estão sendo implantados e/ou recuperados os sistemas de dessalinização do Programa Água Doce no Estado de Alagoas, visando demonstrar a conformidade destes sistemas com a metodologia do Programa Água Doce e demais normas.

**MÁRCIA LIANA FREIRE PEREIRA**

Campina Grande, Abril de 2017.



### Identificação

Consultor(a) / Autor(a): Márcia Liana Freire Pereira

Número do Contrato: 116187

Nome do Projeto: Projeto de Cooperação Técnica PCT BRA/IICA/14/001 de "Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate à Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)".

Oficial/Coordenador Técnico Responsável: Romélia Moreira de Souza

Data /Local: 24/04/2017 - Campina Grande/PB.

### Classificação

#### Temas Prioritários do IICA

|                              |   |                                      |   |
|------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Agroenergia e B combustíveis |   | Sanidade Agropecuária                |   |
| Biotecnologia e Biosegurança |   | Tecnologia e Inovação                |   |
| Comércio e Agronegócio       |   | Agroindústria Rural                  |   |
| Desenvolvimento Rural        | x | Recursos Naturais                    | x |
| Políticas e Comércio         |   | Comunicação e Gestão do Conhecimento |   |
| Agricultura Orgânica         |   | Outros:                              |   |
| Modernização Institucional   |   |                                      |   |

Palavras-Chave:

Osmose inversa, Dessalinização, Programa Água Doce.

### Resumo

**Título do Produto:** Relatório Técnico contendo proposta de documento com estudo dos potenciais de incrustação para as membranas de osmose inversa e de dimensionamento de dessalinizadores em função da composição físico-química de águas provenientes de poços onde estão sendo implantados e/ou recuperados os sistemas de dessalinização do Programa Água Doce, por amostragem de no mínimo 5 (cinco) sistemas no Estado de Alagoas, visando demonstrar a conformidade destes sistemas com a metodologia do Programa Água Doce e demais normas.

**Subtítulo do Produto:** Análise técnica para verificar alinhamento com a metodologia do Programa Água Doce em localidades do Estado de Alagoas onde foram implantados sistemas de dessalinização, através da avaliação da qualidade das águas subterrâneas, elaboração de projetos e averiguação das condições de operação dos equipamentos de dessalinização.

**Resumo do Produto:** Relatório contendo contextualização sobre a problemática hídrica nas regiões semiáridas e a utilização do processo de dessalinização como alternativa de abastecimento de água para consumo humano; aspectos gerais sobre o Estado de Alagoas e sua contextualização no âmbito do Programa Água Doce (PAD); fundamentação teórica sobre o processo de dessalinização por osmose inversa, parâmetros operacionais que influenciam no desempenho do processo, indicadores de incrustação para membranas, metodologia do PAD para instalação de sistemas de dessalinização, etapas para projetar um sistema de membranas por osmose inversa e parâmetros de qualidade da água para projeto de um sistema de dessalinização por osmose inversa para fornecimento de água para consumo humano; projetos de



dessalinizadores com indicação dos potenciais de incrustação a partir de análises físico-químicas de água de poços para comunidades do Estado de Alagoas; e considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

#### Qual Objetivo Primário do Produto?

Elaborar projetos de dessalinizadores utilizando membranas de osmose inversa com a finalidade de prestar assistência técnica na gestão de sistemas de dessalinização no Estado de Alagoas, realizando estudo dos potenciais de incrustação para membranas de osmose inversa através das análises físico-químicas das águas dos poços das comunidades diagnosticadas, verificando o alinhamento com a metodologia do programa, identificando não conformidades e propondo ações corretivas e preventivas.

#### Que Problemas o Produto deve Resolver?

A gestão de sistemas de dessalinização sem que sejam observados aspectos importantes de projeto, considerando as necessidades de produção e qualidade da água, recuperação dos dessalinizadores, tempo de operação dos equipamentos, consumo de energia e pré-tratamento adequado para cada água de poço que será utilizado como fonte hídrica do sistema evitando assim problemas decorrentes da formação de incrustações na superfície das membranas de osmose inversa.

#### Como se Logrou Resolver os Problemas e Atingir os Objetivos?

Elaborando projetos de dessalinizadores e realizando um estudo dos potenciais de incrustação das águas dos poços do Estado de Alagoas para disponibilizar essas informações aos técnicos e consultores que atuam no componente dessalinização do PAD no estado, para que sejam tomadas medidas preventivas a fim de evitar problemas inerentes a operação, monitoramento e manutenção dos sistemas de dessalinização.

#### Quais Resultados mais Relevantes?

A contribuição para gestão do componente dessalinização no Estado de Alagoas através da assistência técnica na elaboração dos projetos dos dessalinizadores; no acompanhamento e análise dos dados de operação; monitoramento dos sistemas de dessalinização; na caracterização das águas de poços que são utilizadas para alimentar os sistemas de dessalinização e que possuem necessidade de um projeto de pré-tratamento adequado visando aumentar a vida útil das membranas de osmose inversa.

#### O Que se Deve Fazer com o Produto para Potencializar o seu Uso?

Disseminar e multiplicar as informações aos técnicos e consultores que atuam no componente dessalinização do PAD para que o estudo dos potenciais de incrustação, a elaboração e análise criteriosa dos projetos dos equipamentos sejam realizadas como um pré-requisito fundamental para a instalação de sistemas de dessalinização no Estado de Alagoas.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 9  |
| 2. O ESTADO DE ALAGOAS .....   | 11 |
| 3 O PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO.....  | 27 |
| 3.1 Processo de Dessalinização via Osmose Inversa.....   | 28 |
| 3.2 Equações características do processo de osmose inversa.....  | 33 |
| 3.3 Fatores que influenciam nas condições de operação do processo de<br>dessalinização por OI.....   | 38 |
| 3.4 Polarização de Concentração. ....  | 40 |
| 3.5 Formação de Incrustações.....  | 41 |
| 3.5.1 Depósitos Inorgânicos. ....  | 44 |
| 3.5.2 Incrustação microbológica. ....  | 45 |
| 3.6 Pré-tratamento. ....   | 46 |
| 3.7 Indicadores de Incrustações. ....  | 49 |
| 3.7.1 Índice de Densidade de Sedimentos. ....  | 49 |
| 3.7.2 Índice de Saturação de Langelier. ....   | 51 |
| 3.7.3 Indicadores de Incrustações de Sulfato.....  | 53 |
| 3.7.4 Estimativa do Potencial de Incrustação de Sílica. ....   | 54 |
| 3.8 Limpeza Química. ....  | 57 |
| 3.9 Metodologia para implantação ou recuperação de sistemas de<br>dessalinização .....   | 58 |
| 3.10 Etapas para projetar um sistema de membranas por Osmose Inversa.....  | 61 |
| 3.11 Parâmetros de qualidade da água para projeto de um sistema de<br>dessalinização por Osmose Inversa para fornecimento de água para consumo<br>humano. .... | 69 |
| 4 ESTUDO DOS POTENCIAIS DE INCRUSTAÇÃO E DE DIMENSIONAMENTO<br>DE EQUIPAMENTOS DE DESSALINIZAÇÃO PARA COMUNIDADES NO ESTADO<br>DE ALAGOAS .....                | 72 |
| 4.1 Município de Estrela de Alagoas.....   | 81 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.1 Comunidade Lagoa dos Porcos.....                                | 81  |
| 4.2 Município de Batalha.....   | 84  |
| 4.2.1 Comunidade Pau Ferro. ....                                      | 84  |
| 4.2.2 Comunidade dos Valérios.....                                    | 88  |
| 4.3 Município de Poço das Trincheiras. ....                           | 89  |
| 4.3.1 Comunidade Manuê. ....  | 89  |
| 4.3.2 Comunidade Gravatazinho. ....                                   | 93  |
| 4.3.3 Comunidade Várzea de Dona Joana.....                            | 96  |
| 4.4 Município de Santana do Ipanema.....                              | 99  |
| 4.4.1 Comunidade Gravatá. ....  | 99  |
| 4.4.2 Comunidade Grotão. ....   | 102 |
| 4.5 Município de Igaci. ....  | 105 |
| 4.5.1 Comunidade Calvário. ....                                       | 105 |
| 4.5.2 Comunidade Santo Antonio.....                                   | 108 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 110 |
| 6 REFERÊNCIAS .....   | 116 |
| 7 ANEXOS.....   | 120 |
| 7.1 GRÁFICOS PARA CÁLCULOS DOS POTENCIAIS DE INCRUSTAÇÃO. ....        | 120 |
| 7.2 FICHA TÉCNICA - MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA. ....                 | 125 |
| 7.3 FICHA TÉCNICA - INIBIDOR DE INCRUSTAÇÃO.....                      | 127 |
| 7.4 LAUDOS DE ANÁLISES LABORATORIAIS DAS ÁGUAS DOS POÇOS.....         | 128 |
| 7.5 PROJETOS DE DESSALINIZADORES SIMULADOS NO SOFTWARE ROSA<br>9..... | 133 |

## 1. INTRODUÇÃO

A importância da dessalinização como uma prática para o desenvolvimento sustentável persiste desde a Agenda 21 e se configura como uma das soluções para suprir a humanidade com água de boa qualidade em face do esgotamento das fontes de água doce seja em função do uso inadequado desses mananciais ou devido às mudanças climáticas e seus eventos extremos.

Através do Programa Água Doce, sob a coordenação da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente, o governo federal promove a melhoria do acesso à água com a implantação e a recuperação de sistemas de dessalinização no semiárido brasileiro. Para atender a comunidades difusas carentes em água potável, o programa utiliza o processo de osmose inversa e tem como objetivo estabelecer uma política pública permanente de acesso à água nestas localidades por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas, incorporando cuidados ambientais e sociais na gestão de sistemas de dessalinização.

A execução do Programa Água Doce nos estados inseridos no semiárido brasileiro está sendo realizada em três fases distintas que compreendem: a realização de um diagnóstico social, ambiental e técnico nas comunidades; a implantação e/ou recuperação de sistemas de dessalinização; e o monitoramento e a manutenção destes sistemas.

Com a ampliação das ações nos estados e a necessidade de um maior acompanhamento na gestão da implantação dos sistemas de dessalinização, o desenvolvimento de atividades que envolvem a capacitação, assessoria e suporte técnico foram desencadeados à medida que o programa entrava em escala. E com isso, foi possível avaliar a capacidade do programa em atender aos requisitos planejados para cada fase de execução, identificando os desvios e propondo ações de correção.

Na etapa de implantação dos sistemas, o estudo dos potenciais de incrustação e o projeto do equipamento de dessalinização são de fundamental importância para garantir o funcionamento dos sistemas em longo prazo e o atendimento da demanda por água de boa qualidade nas comunidades. Sendo

assim, é necessário realizar o tratamento dos dados e informações geradas na fase de diagnóstico, para nesse contexto, elaborar projetos de dessalinizadores a partir das análises de águas, dados de produção dos poços e demandas por água potável nas comunidades.

Com base nos dados coletados em visitas e consultorias técnicas realizadas no Estado de Alagoas, foi realizada uma avaliação geral da execução do Programa Água Doce (PAD), com relação ao Componente Dessalinização, através da observação do desenvolvimento do programa com relação às diretrizes estabelecidas nos Documentos Base e de Orientações técnicas dos Componentes do PAD. Esta avaliação considera além das observações sobre o alinhamento com a metodologia do programa, a identificação de não conformidades, propondo ações corretivas e preventivas, através de recomendações que possuem viabilidade técnica e econômica.

Com a finalidade de atender ao contrato de prestação de serviços profissionais de consultoria nº 116187, relativo ao Termo de Referência TR/PF/IICA-6549, este Relatório Técnico contém estudo dos potenciais de incrustação para as membranas de osmose inversa e de dimensionamento de dessalinizadores em função da composição físico-química de águas provenientes de poços onde estão sendo implantados e/ou recuperados os sistemas de dessalinização do Programa Água Doce no Estado de Alagoas, visando demonstrar a conformidade destes sistemas com a metodologia do Programa Água Doce e demais normas.

## 2. O ESTADO DE ALAGOAS

O Estado de Alagoas é integrado por 102 municípios que totalizam uma área 27.767,661 km<sup>2</sup>, onde vive, segundo a contagem realizada pelo IBGE em 2007, uma população de 3.037.103 habitantes (IBGE, 2007).

Marcado por grande desigualdade social, o Estado freqüentemente apresenta baixos, quando não os piores, desempenhos em seus indicadores sociais o que se reflete em seu IDH (0,649) (PNUD, 2000), penúltimo do país, maior apenas que o Estado do Maranhão. Sua economia baseia-se na monocultura da cana-de-açúcar na Zona de Mata Atlântica que ocupava grande parte do território estadual, na agroindústria sucroalcooleira com suas 27 unidades industriais, na cultura do coco-da-bahia em áreas litorâneas, raras indústrias, além de uma bacia leiteira em pleno semiárido.

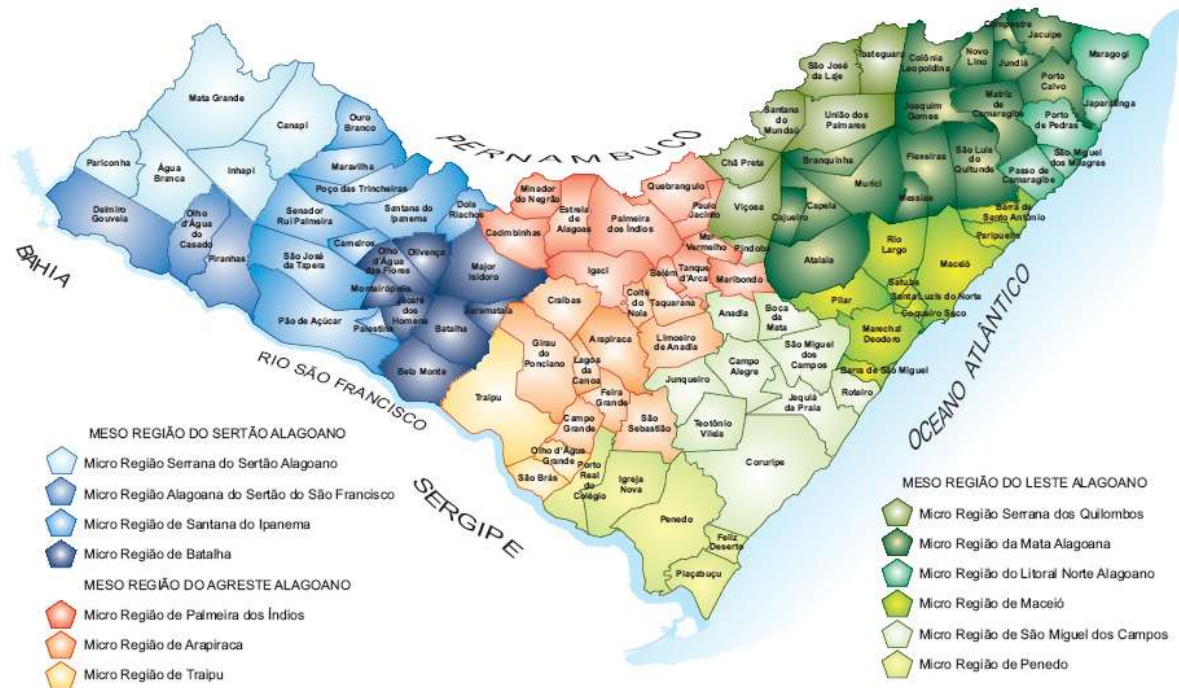
Apesar de possuir pequenas dimensões, Alagoas apresenta uma caracterização climatológica, hidrológica e física bastante diversificada. Está geograficamente inserida em uma área de transição, apresentando a oeste uma região semiárida, a leste uma faixa litorânea semi-úmida e ao sul a bacia do rio São Francisco, sendo dividida em três espaços geoeconômicos bastante diferenciados, caracterizados pela região do Sertão Alagoano, Agreste Alagoano e Leste Alagoano, como mostrado da Figura 1 (Alagoas, 2002).

O Leste Alagoano compreende a Zona Litorânea, Zona da Mata e os municípios do Baixo São Francisco sob domínio do clima litorâneo. Na Zona Litorânea são observados os maiores valores de precipitações anuais, superiores a 1.500 mm. O sistema hidrográfico é formado por rios perenes, com destaque para a presença de 17 sistemas lagunares, representados especialmente pelo Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM).

A Zona da Mata também é composta por rios perenes, com precipitações de até 1.400 mm anuais e clima úmido. No caso da região do Baixo São Francisco sob domínio de clima úmido, é marcante a formação de áreas alagáveis, das quais, devido aos impactos das obras executadas ao longo do rio, a única que manteve as



características próximas do original foi a Várzea da Marituba, localizada nos limites dos municípios de Penedo, Piaçabuçu e de Feliz Deserto.



**Figura 1. Mesorregiões de Alagoas (Alagoas, 2007).**

A Zona do Agreste, localizada na parte central de Alagoas, representa uma área de transição entre as regiões úmidas do litoral e as secas da parte oeste do Estado. A precipitação se situa próximo de 1.000 mm anuais e possui tanto rios perenes como temporários.

Por fim, o Sertão Alagoano, corresponde à região do semiárido, com precipitações anuais na faixa dos 700 mm e com predominância da vegetação da caatinga. A concentração das chuvas nos meses de maio a julho e seu clima extremamente seco entre os meses de setembro a fevereiro, além do baixo potencial de retenção de água no solo, fazem com que a maioria dos rios dessa região sejam temporários. A produção agropecuária da região é constituída especialmente por cultivos de palma forrageira, mandioca, milho, feijão, e criação de bovinos, ovinos e caprinos.

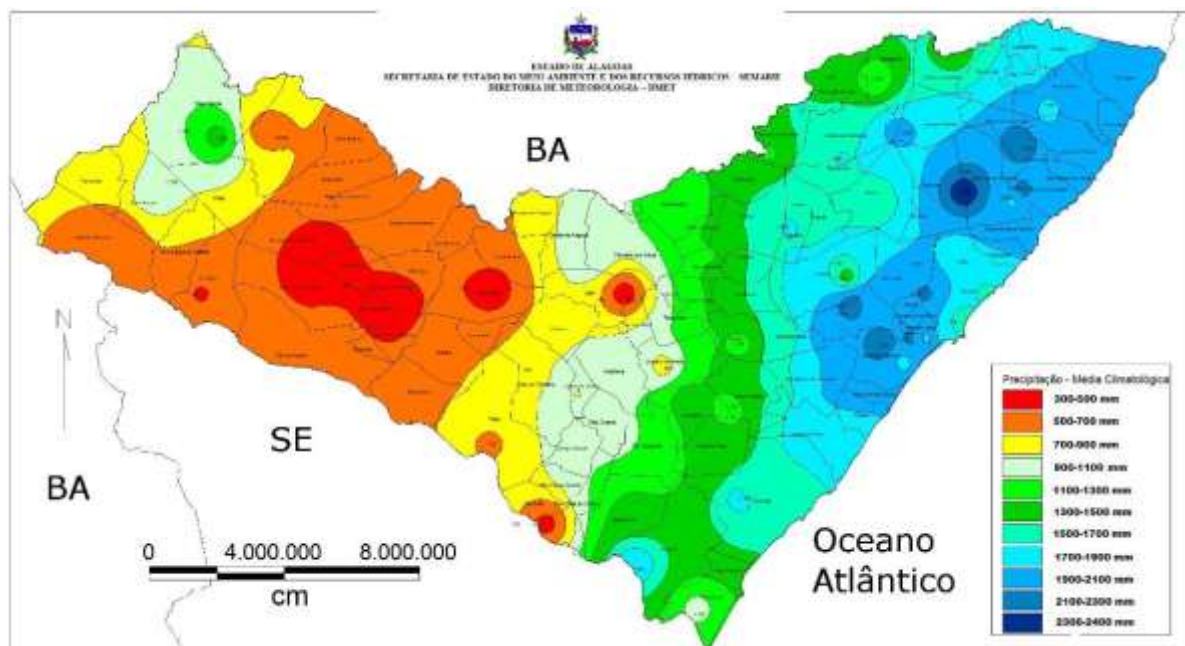
A última delimitação do semiárido brasileiro, estabelecida pelo Ministério da Integração Nacional (Brasil, 2005), é mais ampla do que a classificação do Governo

do Estado de Alagoas (Alagoas, 2007), sendo considerados, pelo Governo Federal, 38 municípios alagoanos pertencentes ao semiárido, definindo assim a área de atuação do PAD em Alagoas, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2. Área de abrangência do semiárido de Alagoas (Brasil, 2005).**

A reduzida precipitação nessa região pode ser observada na Figura 3, onde metade do território alagoano, em sua parte oeste, possui uma média pluviométrica menor que 900 mm, com exceção dos municípios de Mata Grande e Água Branca.



**Figura 3. Média Climatológica de Alagoas (SEMARH, 2009).**

Em relação ao sistema hídrico, Alagoas se caracteriza por sua rede de drenagem, composta de 53 bacias hidrográficas independentes, divididas em Bacias da Vertente Atlântica, formada de rios permanentes que drenam para o Oceano Atlântico, e Bacias da Vertente do São Francisco, que drenam para o rio São Francisco. Do semiárido alagoano faz parte 17 bacias hidrográficas pertencentes à vertente do São Francisco, com rios temporários, exceto o rio Piauí.

Acompanhando o restante do semiárido brasileiro, essa região em Alagoas caracteriza-se por um embasamento cristalino, abrangendo todos os municípios que a compõem, possuindo baixo potencial hídrico, ocupando uma área de aproximadamente 19.700 km<sup>2</sup>, equivalente a 70,8 % da área do Estado. A média de vazões neste domínio é de 2,6 m<sup>3</sup>/h e a profundidade média dos poços de 50m.

Com isso, alguns aquíferos do Estado de Alagoas apresentam restrições quanto à qualidade das águas subterrâneas. Os poços construídos no cristalino apresentam freqüentemente águas salinizadas, sendo necessário o uso de dessalinizadores para o seu aproveitamento (ANA, 2005).

Quanto ao perfil demográfico, residem no semiárido de Alagoas 877.807 pessoas, um pouco mais da metade vivendo em áreas urbanas (IBGE, 2007), devido, especialmente, à grande representatividade da população urbana de Arapiraca, a maior cidade da região. Outra característica dos municípios do semiárido alagoano é que em sua maioria desses municípios (23) possui populações predominantemente rurais, conforme mostra a Tabela 1.

Essa característica tem grande importância na medida em que se verifica uma maior vulnerabilidade de populações rurais às condições climáticas da região, uma vez que a grande maioria tem como fonte de sobrevivência a atividade agropecuária extensiva, sensível a essas mudanças.

Dados da Defesa Civil mostram a recorrência do estabelecimento de "Situação de Emergência", ocasionada pela seca, nos municípios do semiárido de Alagoas durante o período de 2003 a 2009, conforme mostra a Tabela 2. Merece destaque a estiagem de 2003, quando, devido a sua intensidade, entrou nessa

classificação inclusive municípios que nem são considerados do semiárido, como Limoeiro do Anadia e Mar Vermelho (não inseridos na Tabela 1).

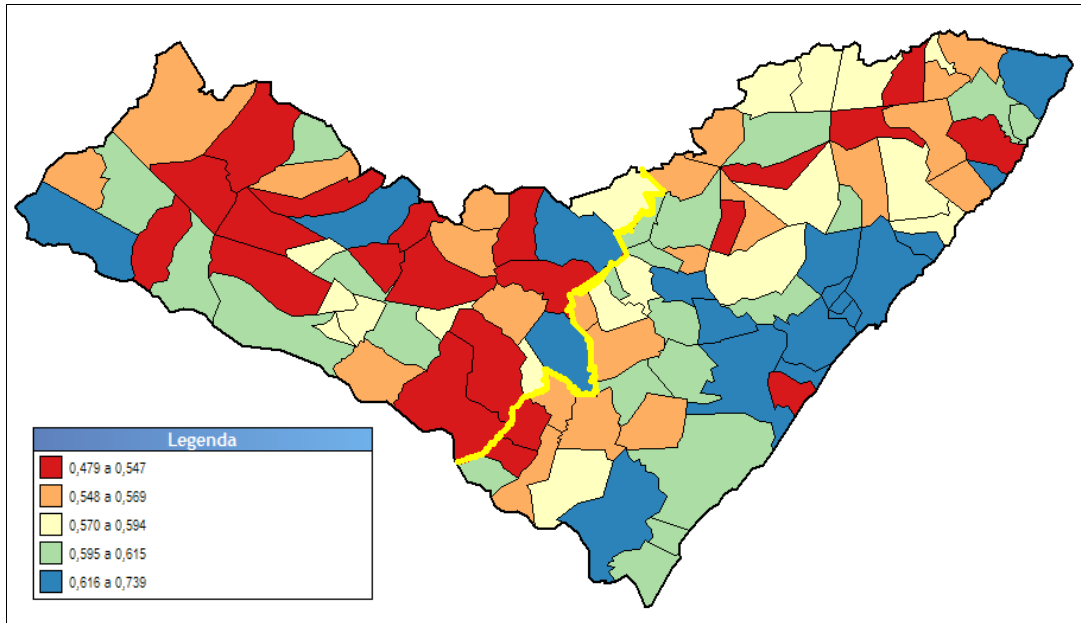
Tabela 1: População urbana e rural dos municípios do semiárido alagoano (IBGE, 2007).

| Município              | População total | População Urbana | População Rural | % População Rural |
|------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|
| Água Branca            | 19.316          | 5.365            | 13.951          | 72,2%             |
| Arapiraca              | 202.398         | 163.708          | 38.690          | 19,1%             |
| Batalha                | 16.247          | 11.347           | 4.900           | 30,2%             |
| Belo Monte             | 7.238           | 1.197            | 6.041           | 83,5%             |
| Cacimbinhas            | 9.843           | 5.216            | 4.627           | 47,0%             |
| Canapi                 | 17.793          | 5.081            | 12.712          | 71,4%             |
| Carneiros              | 8.044           | 3.619            | 4.428           | 55,0%             |
| Coité do Nóia          | 10.916          | 7.277            | 3.695           | 33,8%             |
| Craibas                | 22.411          | 7.075            | 15.336          | 68,4%             |
| Delmiro Gouveia        | 46.599          | 33.626           | 12.973          | 27,8%             |
| Dois Riachos           | 10.885          | 4.826            | 6.059           | 55,7%             |
| Estrela de Alagoas     | 16.694          | 3.753            | 12.941          | 77,5%             |
| Girau do Ponciano      | 35.162          | 10.511           | 24.651          | 70,1%             |
| Igaci                  | 25.140          | 5.953            | 19.187          | 76,3%             |
| Inhapi                 | 17.637          | 6.337            | 11.300          | 64,1%             |
| Jacaré dos Homens      | 5.724           | 2.966            | 2.758           | 48,2%             |
| Jaramataia             | 5.939           | 3.317            | 2.622           | 44,1%             |
| Lagoa da Canoa         | 17.889          | 8.883            | 9.006           | 50,3%             |
| Major Isidoro          | 18.811          | 9.349            | 9.462           | 50,3%             |
| Maravilha              | 10.203          | 4.665            | 5.538           | 54,3%             |
| Mata Grande            | 24.599          | 5.240            | 19.359          | 78,7%             |
| Minador do Negrão      | 5.160           | 2.078            | 3.082           | 59,7%             |
| Monteirópolis          | 7.090           | 2.789            | 4.301           | 60,7%             |
| Olho d'Água das Flores | 19.885          | 13.533           | 6.352           | 31,9%             |
| Olho d'Água do Casado  | 8.139           | 4.213            | 3.926           | 48,2%             |
| Oliveira               | 10.522          | 2.538            | 7.984           | 75,9%             |
| Ouro Branco            | 11.049          | 6.634            | 4.415           | 40,0%             |
| Palestina              | 4.878           | 3.179            | 1.699           | 34,8%             |
| Palmeira dos Índios    | 70.151          | 50.052           | 20.099          | 28,7%             |
| Pão de Açúcar          | 23.855          | 10.455           | 13.400          | 56,2%             |
| Pariconha              | 10.209          | 2.708            | 7.501           | 73,5%             |
| Piranhas               | 23.910          | 13.476           | 10.434          | 43,6%             |
| Poço das Trincheiras   | 12.205          | 1.921            | 10.284          | 84,3%             |
| Quebrangulo            | 11.289          | 6.564            | 4.725           | 41,9%             |
| Santana do Ipanema     | 42.296          | 25.465           | 16.831          | 39,8%             |
| São José da Tapera     | 30.129          | 10.984           | 19.145          | 63,5%             |
| Senador Rui Palmeira   | 12.641          | 4.095            | 8.546           | 67,6%             |
| Traipu                 | 24.911          | 7.863            | 17.048          | 68,4%             |
| <b>TOTAL</b>           | <b>877.807</b>  | <b>477.858</b>   | <b>400.008</b>  | <b>45,6%</b>      |

Tabela 2: Municípios reconhecidos pela defesa civil como em “Situação de Emergência” durante o período de 2003 a 2009 (Alagoas, 2010).

| Município              | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Água Branca            | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
| Batalha                | X    | X    | X    | X    |      | X    | X    |
| Belo Monte             | X    | X    | X    | X    |      |      | X    |
| Cacimbinhas            | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
| Campo Grande           | X    | X    |      |      |      |      |      |
| Canapi                 | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
| Carneiros              | X    | X    | X    |      | X    | X    | X    |
| Coité do Nóia          | X    | X    |      |      |      |      |      |
| Craíbas                | X    | X    |      | X    |      | X    | X    |
| Delmiro Gouveia        | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Dois Riachos           | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Estrela de Alagoas     | X    |      |      | X    | X    | X    | X    |
| Girau do Ponciano      | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Igaci                  | X    |      |      |      |      |      |      |
| Inhapi                 | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Jacaré dos Homens      | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Jaramataia             | X    |      | X    | X    | X    |      | X    |
| Lagoa da Canoa         | X    |      |      |      |      | X    |      |
| Major Isidoro          | X    |      | X    | X    | X    | X    | X    |
| Maravilha              | X    |      | X    | X    | X    | X    | X    |
| Mata Grande            | X    |      |      |      | X    | X    | X    |
| Minador do Negrão      | X    |      | X    |      |      | X    | X    |
| Monteirópolis          | X    |      | X    |      |      | X    | X    |
| Olho d'Água das Flores | X    |      |      |      | X    | X    | X    |
| Olho d'Água do Casado  | X    |      | X    | X    |      | X    | X    |
| Olivença               | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Ouro Branco            | X    |      | X    | X    | X    | X    | X    |
| Palestina              | X    |      |      |      | X    | X    | X    |
| Palmeira dos Índios    | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Pão de Açúcar          | X    |      | X    | X    | X    | X    | X    |
| Pariconha              | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Piranhas               | X    |      | X    |      | X    | X    | X    |
| Poço das Trincheiras   | X    |      |      | X    | X    | X    | X    |
| Santana do Ipanema     | X    |      | X    | X    | X    | X    | X    |
| São José da Tapera     | X    |      | X    |      |      | X    | X    |
| Senador Rui Palmeira   | X    |      | X    |      |      | X    | X    |
| Traipu                 | X    |      |      |      | X    | X    | X    |

Com isso, os indicadores sociais do semiárido alagoano são os menores do Estado, e freqüentemente encontram-se entre os piores do Brasil. Em 2000, o IDH do município de Traipu (0,479) ocupou a quarta posição nacional entre os municípios com os piores desempenhos.



**Figura 4. Distribuição dos Valores de IDH's municipais no Estado de Alagoas (Alagoas, 2010).**

Assim como o IDH, a mortalidade infantil também é um importante indicador, sendo utilizado pelo PAD para definir níveis de criticidade dos municípios. A Taxa de Mortalidade Infantil (TMI), ou seja, o número de óbitos de menores de 1 ano a cada mil nascidos vivos, é considerada tradicionalmente como um dos mais sensíveis indicadores de saúde e de condições socioeconômicas da população, estando relacionada às condições de habitação, saneamento, nutrição, educação e de assistência à saúde (Alagoas, 2010).

As Taxas de Mortalidade Infantil dos municípios do semiárido de Alagoas, no ano de 2009, estão apresentadas na Tabela 3, evidenciando que, de acordo com esse indicador, Monteirópolis é o que apresenta valor mais crítico, enquanto em Olho D'Água do Casado, Minador do Negrão, Jaramataia e Belo Monte não foram registrados óbitos de crianças menores de 1 ano durante o período.

Tabela 3: Taxa de Mortalidade Infantil por município do semiárido alagoano no ano de 2009 (Alagoas, 2010).

| Município              | Taxa de Mortalidade Infantil – 2009* |
|------------------------|--------------------------------------|
| Monteirópolis          | 47,6                                 |
| Pariconha              | 44,1                                 |
| Dois Riachos           | 41,4                                 |
| Canapi                 | 35,8                                 |
| Senador Rui Palmeira   | 34,0                                 |
| Poço das Trincheiras   | 31,7                                 |
| Cacimbinhas            | 31,6                                 |
| Lagoa da Canoa         | 27,8                                 |
| Girau do Ponciano      | 27,4                                 |
| Santana do Ipanema     | 26,5                                 |
| Carneiros              | 25,6                                 |
| Major Isidoro          | 24,6                                 |
| Estrela de Alagoas     | 22,5                                 |
| Batalha                | 22,3                                 |
| Quebrangulo            | 21,3                                 |
| Inhapi                 | 20,3                                 |
| São José da Tapera     | 19,4                                 |
| Olivença               | 18,8                                 |
| Craíbas                | 18,4                                 |
| Pão de Açúcar          | 17,5                                 |
| Arapiraca              | 16,9                                 |
| Igaci                  | 16,6                                 |
| Traipu                 | 16,5                                 |
| Palmeira dos Índios    | 16,5                                 |
| Olho d'Água das Flores | 12,8                                 |
| Delmiro Gouveia        | 12,4                                 |
| Ouro Branco            | 11,4                                 |
| Palestina              | 10,0                                 |
| Jacaré dos Homens      | 7,2                                  |
| Maravilha              | 5,6                                  |
| Piranhas               | 5,4                                  |
| Coité do Nóia          | 5,2                                  |
| Água Branca            | 4,8                                  |
| Mata Grande            | 3,4                                  |
| Olho d'Água do Casado  | 0                                    |
| Minador do Negrão      | 0                                    |
| Jaramataia             | 0                                    |
| Belo Monte             | 0                                    |

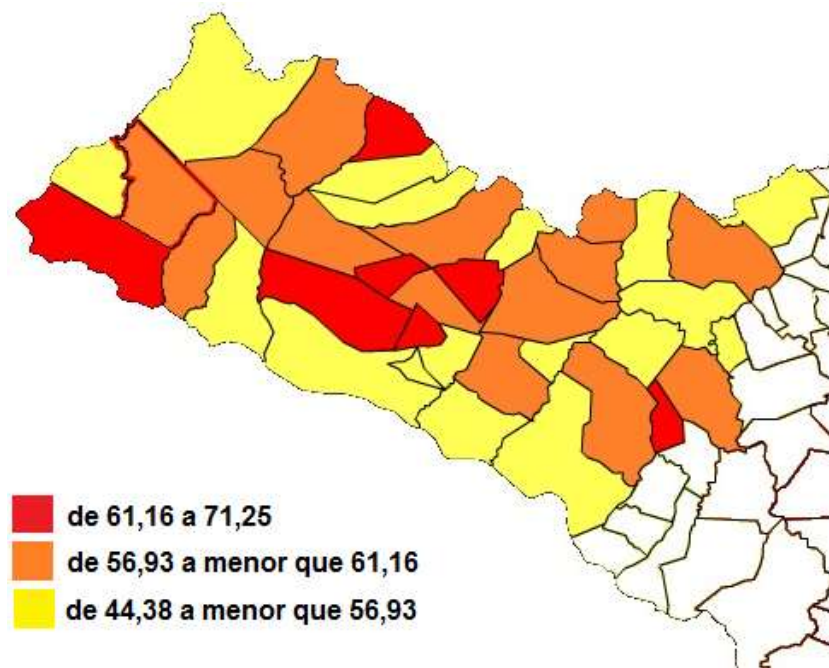
\* Número de mortes de menores de 1 ano de idade a cada mil nascidos vivos.

Os valores da “Incidência de Pobreza” elaborados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2003) mostram regulados bastantes críticos para os municípios do semiárido alagoano. Segundo essa pesquisa, apenas dois municípios possuíam pouco menos da metade de sua população vivendo na condição de pobreza, enquanto nas demais cidades o índice variou entre 50,56 % e 63,34 % (Tabela 4 e Figura 7).

Tabela 4: Incidência de Pobreza nos municípios do semiárido alagoano (IBGE, 2003).

| Município              | Incidência de Pobreza (%) |
|------------------------|---------------------------|
| São José da Tapera     | 63,34                     |
| Carneiros              | 63,05                     |
| Monteirópolis          | 62,77                     |
| Oliveira               | 62,65                     |
| Lagoa da Canoa         | 61,77                     |
| Delmiro Gouveia        | 61,71                     |
| Ouro Branco            | 61,51                     |
| Minador do Negrão      | 60,57                     |
| Arapiraca              | 60,44                     |
| Senador Rui Palmeira   | 60,31                     |
| Cacimbinhas            | 60,08                     |
| Batalha                | 60,04                     |
| Canapi                 | 59,99                     |
| Olho d'Água das Flores | 59,78                     |
| Santana do Ipanema     | 59,45                     |
| Major Isidoro          | 58,87                     |
| Inhapi                 | 58,58                     |
| Palmeira dos Índios    | 58,39                     |
| Água Branca            | 57,92                     |
| Girau do Ponciano      | 57,59                     |
| Olho d'Água do Casado  | 56,93                     |
| Palestina              | 56,32                     |
| Quebrangulo            | 55,90                     |
| Pão de Açúcar          | 55,64                     |
| Traipu                 | 55,63                     |
| Pariconha              | 55,17                     |
| Jaramataia             | 55,09                     |
| Coité do Nóia          | 54,61                     |
| Dois Riachos           | 54,52                     |
| Jacaré dos Homens      | 54,33                     |
| Craibas                | 52,52                     |
| Igaci                  | 51,63                     |
| Maravilha              | 51,43                     |
| Mata Grande            | 50,98                     |
| Estrela de Alagoas     | 50,74                     |
| Poço das Trincheiras   | 50,56                     |
| Belo Monte             | 48,63                     |
| Piranhas               | 44,38                     |





**Figura 5. Mapa de Incidência de pobreza nos municípios do semiárido alagoano (IBGE, 2003).**

Considerando que a região de intervenção do PAD é o semiárido alagoano, faz-se necessário o recorte técnico com uso de indicadores voltados a uma hierarquização das localidades para atendimento. Em termos metodológicos, encontram-se disponíveis diversos indicadores como Índices Pluviométricos, IDH Municipal, Índice de Mortalidade Infantil. A partir dessas informações, o PAD busca definir os municípios mais críticos para priorização de ações. O Ministério do Meio Ambiente desenvolveu um índice, denominado Índice de Condição de Acesso à Água no Semiárido (ICAA), que integrou esses indicadores, além dos valores de “Incidência de Pobreza” de 2003, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possibilitando a visualização dos locais que apresentam as piores condições relativas ao conjunto desses dados.

A adoção do ICAA nas definições de intervenções do PAD é considerada pelo Núcleo Estadual do Alagoas como complementar, uma vez que é composto, principalmente, por indicadores sociais. Esse indicador apresenta dados macros de pluviometria de regiões sem considerar as formas de abastecimento e detalhamento de outros dados do meio físico por município. Assim, quanto à pluviometria, os dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) oferecem maior precisão quanto a esse

parâmetro; e o conhecimento e relato de técnicos ou pessoas da região, além de visitas técnicas, possibilitam uma melhor identificação do nível de acesso à água dessa população.

Por fim, os indicadores se complementam e podem contribuir na hierarquização das intervenções permitindo assim uma priorização.

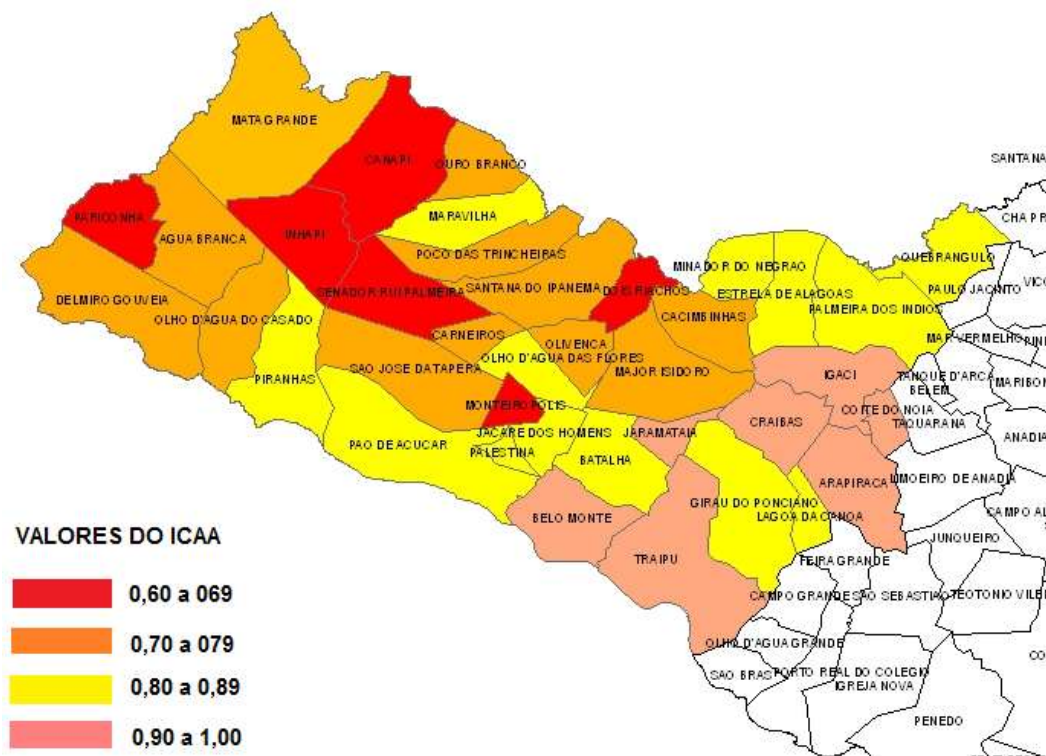
O ICAA apresentou o município de Pariconha como o mais crítico quanto ao conjunto dos indicadores que o compõem, enquanto Coité do Nória é o que obteve o resultado mais favorável (Tabela 5). Ressalta-se, no entanto, que algumas áreas de Pariconha serão atendidas com a operação do primeiro trecho do Empreendimento Canal do Sertão, reduzindo a criticidade quanto ao acesso à água do município.

Esses dados distribuídos em intervalos, e ilustrados em mapa, possibilitam evidenciar uma regionalização de áreas críticas, segundo o ICAA, condicionando o direcionamento de ações (Figura 8). A identificação de regiões críticas é de grande importância, uma vez que permite uma melhor logística, ao possibilitar a execução dos trabalhos em etapas, utilizando a estratégia de atender a todas as comunidades da região selecionada, antes de partir para outro conjunto de municípios.

Além da logística de execução, essa estratégia também permite a verificação, e comparação, das mudanças de indicadores entre regiões atendidas e não atendidas. Conforme exposto anteriormente, dentro desse propósito, foi selecionada para direcionamento de ações de curto prazo do PAD/AL a Bacia do Traipu, como execução da primeira parte do Plano Estadual do PAD/AL, além dos quatro municípios mais críticos de acordo com o ICAA.

Tabela 5: Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA) nos municípios do semiárido alagoano (MMA, 2009).

| Município              | ICAA - Índice de Condição de Acesso à Água no Semiárido |
|------------------------|---|
| Pariconha              | 0,62  |
| Canapi                 | 0,67  |
| Senador Rui Palmeira   | 0,67  |
| Monteirópolis          | 0,68  |
| Dois Riachos           | 0,68  |
| Inhapi                 | 0,68  |
| Carneiros              | 0,71  |
| Poço das Trincheiras   | 0,72  |
| São José da Tapera     | 0,72  |
| Santana do Ipanema     | 0,73  |
| Delmiro Gouveia        | 0,73  |
| Cacimbinhas            | 0,74  |
| Água Branca            | 0,76  |
| Major Isidoro          | 0,76  |
| Olho d'Água do Casado  | 0,76  |
| Ouro Branco            | 0,77  |
| Oliveira               | 0,77  |
| Mata Grande            | 0,78  |
| Estrela de Alagoas     | 0,80  |
| Olho d'Água das Flores | 0,81  |
| Pão de Açúcar          | 0,81  |
| Maravilha              | 0,81  |
| Batalha                | 0,82  |
| Palestina              | 0,83  |
| Jacaré dos Homens      | 0,84  |
| Minador do Negrão      | 0,84  |
| Piranhas               | 0,85  |
| Palmeira dos Índios    | 0,86  |
| Quebrangulo            | 0,88  |
| Lagoa da Canoa         | 0,88  |
| Girau do Ponciano      | 0,89  |
| Craibas                | 0,90  |
| Igaci                  | 0,90  |
| Jaramataia             | 0,91  |
| Traipu                 | 0,92  |
| Belo Monte             | 0,93  |
| Arapiraca              | 0,94  |
| Coité do Nóia          | 0,98  |



**Figura 8. Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA) no semiárido alagoano (MMA, 2009).**

Complementando essa classificação, são verificadas as áreas de potencial ação do programa, a partir do levantamento de informações de poços e dessalinizadores instalados nesses municípios. A partir de dados secundários, foram identificadas 223 comunidades em todo o semiárido alagoano que possuem dessalinizadores e 626 localidades com poços sem o equipamento (Tabela 6).

Diante da grande quantidade de dessalinizadores desativados no Estado, o PAD em Alagoas direcionou suas ações para recuperação de sistemas, fazendo, em casos de comunidades que estão em situação crítica quanto ao acesso de água em quantidade e qualidade adequadas, uma realocação de dessalinizadores encontrados em localidades que não mais necessitam do equipamento, ou que foram recolhidos pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca do Estado de Alagoas (DNOCS/AL) e prefeituras.

Porém não foi descartada a implantação de sistemas no caso de comunidades consideradas críticas quanto ao abastecimento de água, que não possuem dessalinizadores e quando esgotadas as possibilidades de recuperação ou realocação de equipamentos.

Tabela 6: Número de poços com e sem dessalinizadores instalados no semiárido alagoano (MMA, 2009).

| MUNICÍPIOS           | SEM DESSALINIZADOR | COM DESSALINIZADOR | RECUPERADO PELO PAD |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Água Branca          | 5                  | 2                  | -                   |
| Arapiraca            | 102                | 12                 | -                   |
| Batalha              | 11                 | 5                  | -                   |
| Belo Monte           | 2                  | 3                  | -                   |
| Cacimbinhas          | 9                  | 8                  | -                   |
| Canapi               | 4                  | 3                  | -                   |
| Carneiros            | 2                  | 4                  | -                   |
| Coité do Nóia        | 33                 | 6                  | -                   |
| Craibas              | 15                 | 3                  | -                   |
| Delmiro Gouveia      | 4                  | 3                  | -                   |
| Dois Riachos         | 2                  | 5                  | -                   |
| Estrela de Alagoas   | 28                 | 18                 | 2                   |
| Girau do Ponciano    | 23                 | 14                 | -                   |
| Igaci                | 32                 | 6                  | 2                   |
| Inhapi               | 6                  | 4                  | -                   |
| Jacaré dos Homens    | Sem registro       | Sem registro       | -                   |
| Jaramataia           | 2                  | 3                  | -                   |
| Lagoa da Canoa       | 21                 | 5                  | -                   |
| Major Isidoro        | 11                 | 2                  | -                   |
| Maravilha            | 8                  | 5                  | -                   |
| Mata Grande          | 11                 | 6                  | -                   |
| Minador do Negrão    | 15                 | 10                 | --                  |
| Monteirópolis        | 1                  | 0                  | -                   |
| Olho d'Água Flores   | 4                  | 0                  | -                   |
| Olho d'Água Casado   | 5                  | 0                  | -                   |
| Olivença             | 4                  | 0                  | -                   |
| Ouro Branco          | 7                  | 1                  | -                   |
| Palestina            | 1                  | 1                  | -                   |
| Palmeira dos Índios  | 123                | 37                 | 4                   |
| Pão de Açúcar        | 10                 | 6                  | -                   |
| Pariconha            | 2                  | 4                  | -                   |
| Piranhas             | 8                  | 3                  | -                   |
| Poço das Trincheiras | 8                  | 11                 | -                   |
| Quebrangulo          | 52                 | 1                  | -                   |
| Santana do Ipanema   | 22                 | 18                 | 1                   |
| São José da Tapera   | 11                 | 4                  | -                   |
| Senador Rui Palmeira | 4                  | 5                  | -                   |
| Traipu               | 18                 | 5                  | -                   |
| <b>TOTAL</b>         | <b>626</b>         | <b>223</b>         | <b>9</b>            |

As metas do PAD em Alagoas foram divididas em diferentes prazos de execução, condicionadas por convênios em execução ou previstos, e ainda, estabelecidas em atendimento às premissas seguidas pelo Programa.

As ações de curto prazo do PAD/AL foram concentradas na Região Hidrográfica do Traipu, uma vez que, por ser muito impactada, a SEMARH tem direcionado os projetos para essa bacia com vista à criação de um modelo de desenvolvimento que poderá se expandir para outras regiões do Nordeste. A execução dessa meta ocorreu durante o período de 2010 a 2011, obedecendo ao estabelecido na primeira versão do Plano Estadual do Programa Água Doce, que possibilitou a obtenção de recursos para sua execução.

Sendo assim, o PAD/AL iniciou as atividades através de um convênio firmado entre o Ministério do Meio Ambiente e a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH/AL) em 2009, tendo como objeto, a Implantação e/ou recuperação de 24 sistemas de dessalinização em 12 municípios do Semiárido Alagoano mediante diagnóstico técnico em 64 comunidades para seleção das localidades mais críticas, de acordo com os critérios do programa e metas do programa de curto prazo no estado, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Metas de curto prazo do PAD/AL (MMA, 2009).

| AÇÕES   | Quantidade  | Período  | População atendida |
|---|-------------|----------|--------------------|
| Recuperação de sistema de dessalinização simples      | 24 unidades | 24 meses | 15.000 habitantes  |
| Recuperação para implantação de Unidade Demonstrativa | 1 unidade   |          |                    |

A recuperação abrange, além das obras e recuperação de equipamento, a execução dos trabalhos de mobilização social e de sustentabilidade ambiental.

A Tabela 8 mostra as comunidades selecionadas por município, número de famílias beneficiadas, número de membranas que definem a produção de água dessalinizada por dessalinizador e vazão dos poços dos sistemas de dessalinização implantados em atendimento as metas de curto prazo estabelecidas para execução do Programa Água Doce no Estado de Alagoas.

Tabela 8: Comunidades selecionadas por município, número de famílias beneficiadas, número de membranas por dessalinizador e vazão dos poços dos sistemas de dessalinização implantados no Estado de Alagoas através do Programa Água Doce.

| MUNICÍPIO            | COMUNIDADE                  | Nº DE FAMÍLIAS | MEMBRANAS | VAZÃO DO POÇO (L/h) |
|----------------------|-----------------------------|----------------|-----------|---------------------|
| BATALHA              | Pau Ferro                   | 50             | 3         | 2.880               |
|                      | Dos Valérios                | 30             | 3         | 3.000               |
| DOIS RIACHOS         | Jurema                      | 50             | 3         | 1.100               |
| ESTRELA DE ALAGOAS   | Lagoa dos Porcos            | 120            | 3         | 1.500               |
| IGACI                | Calvário                    | 50             | 3         | 1.800               |
|                      | Santo Antonio               | 60             | 3         | 1.500               |
| GIRAU DO PONCIANO    | Sítio Mateus                | 30             | 3         | 1.746               |
| MAJOR IZIDORO        | Riachão dos Alexandres      | 110            | 3         | 2.057               |
|                      | Comunidade Bezerra          | 85             | 3         | 1.385               |
| MINADOR DO NEGRÃO    | Salgadinho                  | 52             | 3         | 4.500               |
| POÇO DAS TRINCHEIRAS | Manuê                       | 30             | 3         | 1.300               |
|                      | Várzea Dona Joana           | 300            | 6         | 1.800               |
|                      | Gravatazinho                | 40             | 3         | 1.900               |
| SANTANA DO IPANEMA   | Grotão                      | 100            | 6         | 1.700               |
|                      | Riacho das Lages            | 40             | 6         | 1.300               |
|                      | Gravatá                     | 30             | 3         | 1.714               |
| SÃO JOSÉ DA TAPERA   | Logrador                    | 40             | 3         | 1.200               |
|                      | Assentamento Selma Bandeira | 73             | 3         | 2.400               |
|                      | Mocambo                     | 64             | 6         | 2.880               |
| SENADOR RUI PALMEIRA | Candunda                    | 50             | 3         | 2.667               |
|                      | Alto da Palha               | 100            | 6         | 9.000               |
|                      | Boa Vista                   | 30             | 3         | 4.000               |
| TRAIPU               | Belo Horizonte I            | 100            | 6         | 1.895               |
|                      | Belo Horizonte II           | 30             | 3         | 1.636               |

### 3 O PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

A dessalinização é um processo natural e contínuo que ocorre no ciclo hidrológico. A água do mar é constantemente evaporada formando as nuvens que precipitam no solo na forma de chuva. Ao ser evaporada a água fica isenta de sais minerais estando assim na sua forma pura. A água da chuva, por outro lado pode conter impurezas do ar nela dissolvidas. Após a precipitação no solo, a água escoar pela superfície terrestre dissolvendo os sais minerais e tornando-se progressivamente salgada até retornar para os oceanos. Uma parte dessa água infiltra-se no solo formando os lençóis freáticos. Quando esses lençóis são confinados em rochas cristalinas, a água também dissolve parcialmente os sais constituintes dessas rochas. Dessa forma, as águas subterrâneas com alto teor de sais dissolvidos tornam-se impróprias para o consumo humano.

Os processos de dessalinização mais utilizados são os térmicos e de membranas. Os térmicos são via destilação múltiplo efeito, compressão de vapor e “flash”. Com membranas, os processos mais utilizados são de eletrodialise (ED) e osmose inversa (OI). Cada um deles apresenta suas vantagens e desvantagens em termos de consumo de energia, áreas de ocupação e manutenção.

O processo de OI vem sendo o mais indicado para as características físico-químicas das águas salobras do semiárido brasileiro. O uso desse processo para dessalinização de águas remonta ao final da década de 1960 e se consolida nos anos 70. Concorrendo com as técnicas evaporativas, de troca iônica e de eletrodialise, por apresentar vantagens em função de seus aspectos econômicos e práticos.

Os dessalinizadores OI são equipamentos destinados a produzir água potável a partir de água do mar ou salobra, empregando o processo que utiliza membranas osmóticas sintéticas. O processo de OI tem como força motriz a pressão a qual deve ser superior à pressão osmótica oferecida pela solução. Sabe-se que durante o processo são geradas duas correntes: permeado e concentrado. Quando se trata de um sistema de abastecimento de água, o permeado é dirigido para o consumo humano. Enquanto que o concentrado pode ser utilizado para outros fins como, por exemplo: criação de peixes do tipo tilápia e irrigação de plantas halófitas.



A tecnologia de membranas não é apenas utilizada na osmose inversa, existem outros três tipos de sistemas: microfiltração (membranas com poros de diâmetros médios entre 0,1 e 1 $\mu$ m); ultrafiltração (membranas com poros entre 0,01 e 0,1 $\mu$ m) e nanofiltração (membranas com poros do tamanho de moléculas). De todas essas, a osmose inversa é a mais eficiente eliminando as menores partículas, que são os sais dissolvidos na água; por isso somente este processo com membranas é utilizado para tornar águas salobras e salinas próprias para o consumo humano.

### 3.1 Processo de Dessalinização via Osmose Inversa

A osmose inversa é a técnica que vem consolidando o mercado para produção de água potável e ocorre quando uma pressão superior à pressão osmótica é aplicada no lado da solução mais concentrada. Quando isso ocorre, se obtém água pura a partir de uma solução salina por meio de uma membrana semipermeável.

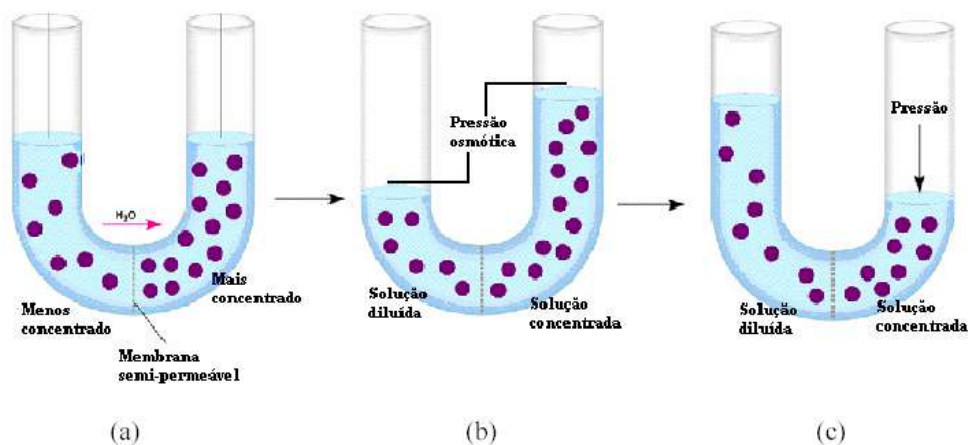
O princípio operacional deste processo é baseado no fenômeno osmótico. Este ocorre quando temos uma solução concentrada separada de uma solução com concentração inferior por uma membrana semipermeável. Nesta situação ocorrerá naturalmente um fluxo de água (solvente da solução) para a solução mais concentrada (Figuras 9a e 9b). Este fluxo permanece até o momento em se estabelece um equilíbrio e as duas soluções apresentam uma diferença de pressão denominada de pressão osmótica.

A pressão osmótica é uma propriedade coligativa das soluções em geral que compreendem as propriedades físicas que são alteradas em função da concentração do soluto (ex: sais dissolvidos na solução). As alterações são dependentes do número de partículas do soluto e independente de sua natureza química.

Quanto maior for a diferença da concentração inicial entre as duas soluções, maior será a pressão osmótica que interromperá o transporte osmótico da água através da membrana.

Quando uma pressão superior à pressão osmótica é aplicada do lado da solução concentrada, o solvente (água) inverterá o seu fluxo no sentido da solução menos concentrada resultando num processo denominado de Osmose Inversa (Figura 9c). Em se tratando de soluções contendo solutos de baixo peso molecular, essa pressão será bastante elevada.

No fenômeno da osmose a solução menos concentrada perde o seu volume, enquanto a mais concentrada ganha em volume. Aplicando uma pressão superior à pressão osmótica, revertemos à direção do fluxo. A solução mais concentrada perde então seu volume, aumentando sua concentração. Simultaneamente, a solução diluída aumenta o seu volume, pois ela recebe água pura através da membrana (Manual de Dessalinização para Planejadores, 1972).

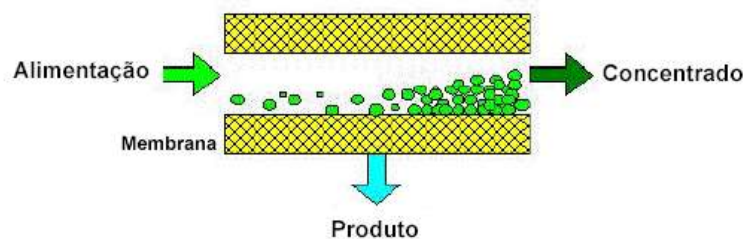


**Figura 9. Representação do processo de osmose e OI: (a) duas soluções, uma salina e outra sem sal, separadas por uma membrana semipermeável; (b) a água pura dilui a salgada até que seja atingido o equilíbrio osmótico; (c) a aplicação de uma pressão superior à diferença de pressão hidrostática inverte o processo (Kerr et al., 2001).**

Na prática isto pode ser obtido pressionando-se a solução por meio de uma bomba e passando esta solução sob alta pressão por um vaso de pressão (permeador) onde está contida a membrana.

Nos processos de dessalinização por meio de osmose inversa, o fluido atravessa a membrana em fluxo “cruzado” ou tangencial, ou seja, ocorre um contato do fluxo paralelo à área da membrana.

Ao contrário da filtração convencional, em que o soluto é retido na superfície do filtro, na osmose reversa, o soluto e os sólidos são eliminados pelo fluxo do concentrado tangencial a membrana. Geralmente em processos onde ocorre a remoção de partículas menores ou de sais dissolvidos são utilizados sistemas de separação por membranas cujo fluxo é do tipo cruzado, conforme mostra a Figura 10.



**Figura 10. Modelo de filtração de fluxo cruzado (Sousa, 2003).**

Como existe um fluxo contínuo junto à superfície da membrana, as partículas rejeitadas não se acumulam, são lavadas pela corrente que constitui o concentrado. Portanto, uma corrente de alimentação é dividida em duas correntes de saída: a solução que passou através da superfície da membrana e a corrente concentrada remanescente (Dow Latin America, 1996).

Os processos de dessalinização em grande escala ocorrem com elementos de membranas do tipo espiral. O módulo em espiral é composto por praticamente três camadas com funções específicas: espaçador, membrana e filme coletor.

O espaçador como o próprio nome sugere, facilita a passagem da água através do módulo, aumenta a turbulência da água na superfície da membrana auxiliando no processo de dessalinização e ajuda a carrear os sais que tendem a precipitar nas superfícies das membranas.

A membrana é o elemento responsável pela seletividade, o que vai passar através dela ou não, durante o processo de osmose inversa. E o filme coletor é responsável por captar toda a água que atravessou a membrana e direcioná-la para o tubo coletor que se encontra no centro do módulo.

A água pura e a solução agora mais concentrada são retiradas de forma contínua dos dois lados da superfície da membrana, de modo que a pressão osmótica e a concentração de sais se mantenham em nível aceitável para que o processo não seja interrompido. A corrente de água pura é denominada de produto ou permeado, enquanto que a outra corrente é denominada de concentrado.

A osmose inversa é utilizada para a obtenção de água com alto grau de qualidade, inclusive água para abastecimento a partir de água salina ou salobra, já que possibilita a remoção de sais dissolvidos ou moléculas inorgânicas, bem como moléculas orgânicas. Sistemas de osmose possibilitam o tratamento de águas com uma concentração de sais dissolvidos variando de 5,0 mg/L até 34.000 mg/L (Wagner, 2001).

A dessalinização via osmose inversa já se encontra consolidada no mundo. Em alguns lugares da Arábia Saudita ainda é utilizado o processo térmico para dessalinização de águas, mas estes vêm sendo substituídos pelos processos de membranas. Essa mudança se deve ao fato dos sistemas com membranas serem mais leves, modulares, ocuparem menor espaço, serem de fácil manuseio e manutenção, tem menor consumo de energia e o custo do produto é inferior (Amjad et al., 1992).

Com relação à dessalinização de águas subterrâneas salobras, o processo de osmose inversa, é uma excelente alternativa de abastecimento para o consumo humano no semiárido brasileiro, em função dos resultados bacteriológicos e físico-químicos se apresentarem dentro dos padrões de potabilidade compatíveis com as normas nacionais (Ferreira, 2008).

No semiárido brasileiro, o dessalinizador é um dos equipamentos responsáveis pela produção de água potável utilizando como fonte hídrica águas salobras provenientes de poços cujas características estão relacionadas com a região onde foram perfurados. Os sistemas de dessalinização implantados pelo Programa Água Doce são compostos por um poço tubular, bomba do poço, reservatório de alimentação (água bruta), abrigo de alvenaria, dessalinizador, reservatório para o permeado (água doce), reservatório para o concentrado, chafariz e tanques de contenção do concentrado.

Dependendo de suas características físico-químicas, a água do poço deve passar por um pré-tratamento antes de alimentar o dessalinizador. O pré-tratamento tem por objetivo proteger as membranas removendo substâncias que possam causar incrustações em sua superfície, diminuindo sua vida útil (Isaias, 2001; Taylor & Jacobs, 1996).

A Figura 11 apresenta a configuração típica de um dessalinizador via osmose inversa, que é composto por módulos de membranas de baixa porosidade alojadas em tubos de alta pressão, composto por duas bombas, uma auxiliar que inicia o funcionamento do sistema e a bomba de alta pressão que é responsável pela permeação da água salobra sobre as membranas, instrumentos de medidas das variáveis do sistema e controle das vazões (válvulas, rotâmetros e manômetros), um sistema de pré-tratamento composto de uma bomba dosadora com a função de adicionar um agente químico na corrente de alimentação para impedir a deposição ou incrustação de substâncias sobre a superfície das membranas e um sistema de filtros de acetato celulose para remover o material em suspensão com o intuito de conservar a membrana de osmose inversa.

O que diferencia os diversos dessalinizadores disponíveis no mercado são as qualidades dos materiais neles empregados, a tecnologia de produção, o grau de automação incorporado, a experiência do fabricante e a disponibilidade de assistência e serviços técnicos.

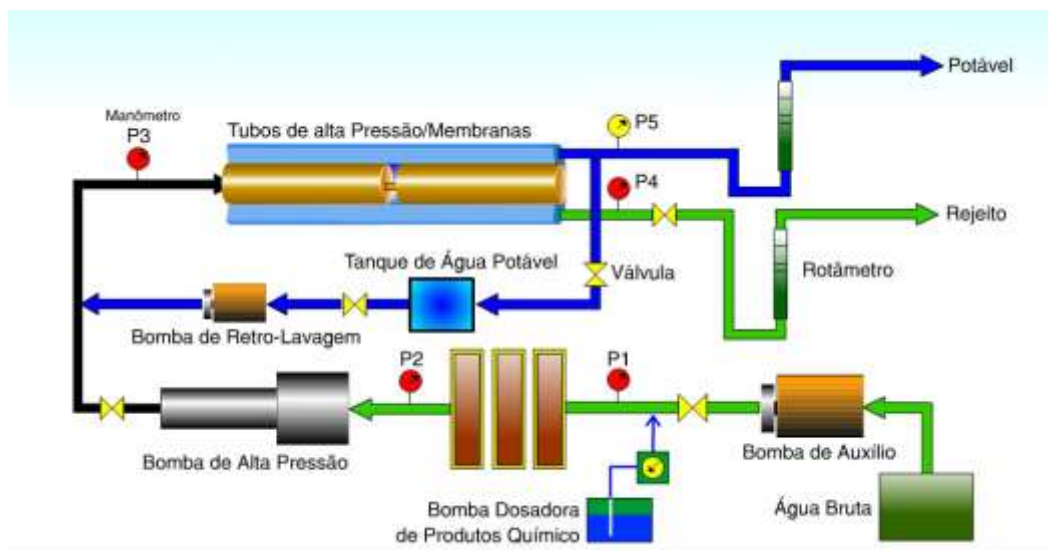


Figura 11. Sistema de Dessalinização de Água por Osmose Inversa (França, 2007).

O processo de dessalinização por osmose inversa, como qualquer outra operação unitária, obedece às conservações de massa e energia. Para que o processo ocorra com sucesso, muitas vezes se faz necessário à modelagem, ou uma simulação do processo, resultando-se, desta maneira, no cálculo de vazões, pressões de operação, fluxo de permeado e concentrado, coeficientes de transferência de soluto e solvente, recuperação do sistema, dentre outras equações que possam maximizar o processo.

A partir de análises físico-químicas das águas subterrâneas são realizados os projetos dos dessalinizadores com auxílio de programas de simulação de membranas, com o objetivo de avaliar o funcionamento dos equipamentos em função das suas pressões, vazões e qualidade das águas (Schneider & Tsutiya, 2001; FilmTec, 2008).

### 3.2 Equações características do processo de osmose inversa.

O fluxo do permeado através de uma membrana de OI é proporcional à variação de pressão osmótica e hidráulica e pode ser representado pela Equação 1 (Taylor & Jacobs, 1996; Dow Latin America, 1996):

$$J_p = K_a (\Delta P - \Delta \pi) = \frac{Q_p}{A} \quad (1)$$

Onde:  $J_p$  é o fluxo do permeado ( $L/m^2h$ ),  $K_a$  é o coeficiente de permeação da água ( $L/m^2.h.kgf/cm^2$ ),  $\Delta P$  é o gradiente de pressão hidráulica ( $kgf/cm^2$ ),  $\Delta \pi$  é o gradiente de pressão osmótica ( $kgf/cm^2$ ),  $Q_p$  é a vazão do permeado e  $A$  é a área ativa da membrana ( $m^2$ ).

O transporte de sais através da membrana é proporcional a concentração ou diferença de potencial químico, depende da diferença de concentração e independe da pressão aplicada ao sistema, que pode ser representado pela seguinte Equação 2:

$$J_s = K_s \Delta C \quad (2)$$

Onde:  $J_s$  é o fluxo mássico do soluto ( $\text{kg}/\text{m}^2 \text{ h}$ ),  $K_s$  é o coeficiente de permeação do soluto ( $\text{m}/\text{s}$ ) e  $\Delta C$  é o gradiente de concentração de sais ( $\text{mg}/\text{L}$ ).

$\Delta P$ ,  $\Delta \pi$  e  $\Delta C$  são dados por:

$$\Delta P = \left[ \frac{(P_a + P_c)}{2} - P_p \right] \quad (3)$$

$$\Delta \pi = \left[ \frac{\pi_a + \pi_c}{2} - \pi_p \right] \quad (4)$$

$$\Delta C = \left[ \frac{(C_a + C_c)}{2} - C_p \right] \quad (5)$$

Onde:  $P_a$ ,  $P_c$  e  $P_p$  são as pressões de alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ );  $\pi_a$ ,  $\pi_c$  e  $\pi_p$  são as pressões osmóticas da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ );  $C_a$ ,  $C_c$  e  $C_p$  são as concentrações da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente ( $\text{mg}/\text{L}$ ) (Taylor & Jacobs, 1996).

A pressão osmótica depende da concentração de solutos, temperatura da solução e do tipo de íons presentes. Quanto maior for a concentração da solução, maior será o valor da pressão osmótica dessa solução. Para soluções diluídas, a pressão osmótica pode ser calculada pela equação de Van't Hoff (Equação 6) (Brandt et al., 1993).

$$\pi = \sum v_i c_i RT \quad (6)$$

Onde:  $\pi$  é a pressão osmótica da solução iônica ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ),  $v_i$  é o nº de íons formados na dissociação do soluto,  $c_i$  é a concentração molar do soluto ( $\text{mol}/\text{L}$ ),  $R$  é a constante dos gases ideais ( $\text{kgf}\cdot\text{L}/\text{cm}^2\text{mol}\cdot\text{K}$ ) e  $T$  é a temperatura absoluta (K).

A determinação da concentração de todos os íons em solução é demorada e cara. Na prática, a pressão osmótica pode ser aproximada a partir da concentração total de sais (totais de sólidos dissolvidos):

$$\pi = k_{os} RC_{STD} \quad (7)$$

Onde  $k_{os}$  é a constante osmótica,  $R$  é a constante de gases e  $C_{STD}$  é a concentração de sólidos totais dissolvidos. O fator  $k_{os}$  varia entre 0,0063 e 0,0115 (Ko e Guy, 1998).

A recuperação do sistema refere-se à razão da água de alimentação convertida em água purificada e depende de vários fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão osmótica, temperatura da água da alimentação e a qualidade do permeado, conforme mostra a Equação 8.

$$r(\%) = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100 = \frac{Q_p}{Q_p + Q_c} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:  $r$  é a recuperação do sistema,  $Q_p$  é a vazão da água produzida,  $Q_a$  é a vazão da água de alimentação e  $Q_c$  é a vazão da água do concentrado, todas em L/min.

Combinando as Equações 1 e 8, obtém-se a seguinte equação:

$$r = \frac{K_a A (\Delta P - \Delta \pi)}{Q_a} \quad (9)$$

A equação acima mostra a relação da recuperação do sistema de membrana em função dos gradientes de pressão (osmótica e hidráulica).

A recuperação máxima em qualquer instalação de OI, depende dos sais presentes na água de alimentação e de sua tendência a se precipitar na superfície da membrana. Com o aumento do nível de recuperação do sistema, mais água é convertida em produto. Isto reduz o volume da água a ser rejeitada e, conseqüentemente, aumenta o valor da concentração de sais dissolvidos na corrente de rejeito, assim como a possibilidade de sua precipitação na superfície da membrana (Dow Latin America, 1996).

A Rejeição de Sais (RS) fornece a capacidade da membrana de rejeitar os sais dissolvidos durante a permeação da água e é representada pela Equação 10.

$$RS(\%) = \frac{C_a - C_p}{C_a} \cdot 100 \quad (10)$$



Onde: RS é a rejeição de sais,  $C_a$  é a concentração de alimentação (mg/L) e  $C_p$  é a concentração do permeado (mg/L).

A rejeição de sais indica a efetividade de remoção de sais e outras espécies químicas pela membrana, possuindo valores que variam de 90 a 99,8 % para a maioria dos íons existentes na água (Dow Latin Química, 1996).

Uma grande variedade de fatores influencia a rejeição de solutos por membranas: dimensões do soluto, morfologia dos componentes retidos pela membrana, tamanho dos poros da membrana, propriedades químicas da solução a ser filtrada e fatores hidrodinâmicos, que determinam a tensão de arraste e as forças de cisalhamento na superfície da membrana (Schneider & Tsutiya, 2001).

A Equação 11 apresenta o balanço de massa para um sistema de dessalinização.

$$Q_a C_a = Q_p C_p + Q_c C_c \quad (11)$$

Onde:  $Q_a$  é a vazão de alimentação ( $m^3/h$ ),  $C_a$  é a concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L),  $Q_p$  é a vazão do produto ( $m^3/h$ ),  $C_p$  é a concentração de sais dissolvidos na corrente de produto (mg/L),  $Q_c$  é a vazão do concentrado ( $m^3/h$ ) e  $C_c$  é a concentração de sais dissolvidos na corrente de concentrado (mg/L).

A concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado é matematicamente estimada, a partir da Equação 12:

$$C_c = \frac{Q_a C_a - Q_p C_p}{Q_c} = \frac{C_a - r C_p}{Q_c / Q_a} \quad (12)$$

Logo, temos a concentração de sais na corrente do concentrado, estimada pela equação abaixo:

$$C_c = \frac{C_a - r C_p}{1 - r} \quad (13)$$

Onde:  $C_c$  é a concentração do concentrado (mg/L),  $C_a$  é a concentração de alimentação (mg/L),  $C_p$  é a concentração do permeado (mg/L) e  $r$  é a recuperação do sistema (%).

Considerando 100 % de rejeição de sais e  $C_p = 0$ , da Equação 11 teremos:

$$C_a Q_a = C_c Q_c \Rightarrow \frac{Q_a}{Q_c} = \frac{C_c}{C_a} = \frac{1}{(1-r)} = FC \quad (14)$$

Onde:  $C_c$  é a concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado (mg/L),  $C_a$  é a concentração de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L) e  $r$  é a recuperação do sistema (%).

Então se  $C_p = 0$ , a concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado também pode ser calculada com o auxílio da Equação 15.

$$C_c = \frac{C_a}{1-r} \quad (15)$$

Onde:  $C_c$  é a concentração do concentrado (mg/L),  $C_a$  é a concentração de alimentação (mg/L) e  $r$  é a recuperação do sistema (%).

O fator de concentração  $FC$  é então dado pela Equação 16.

$$FC = \frac{1}{1-r} \quad (16)$$

Esta expressão simplesmente significa que a concentração de um soluto no fluxo do concentrado dobrará, se a planta de membrana for operada a uma recuperação de 50 %, a Equação 16 é válida desde que seja assumido 100% de rejeição (quando  $C_p = 0$ ), contudo alguns íons atravessarão para o fluxo do permeado (Taylor e Jacobs, 1996; El-Manharawy e Hafez, 2001).

A taxa de passagem de sais é oposta a rejeição de sais e é a porcentagem do sal na água de alimentação que atravessa a membrana, ela é calculada de acordo com a Equação 17 (Brandt et al., 1993):

$$PS(\%) = \left( \frac{C_p}{C_a} \right) * 100 \quad (17)$$

Onde: PS é a taxa de passagem de sais (%),  $C_a$  é a concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L) e  $C_p$  é a concentração de soluto na corrente de permeado (mg/L).

### 3.3 Fatores que influenciam nas condições de operação do processo de dessalinização por OI.

A principal função das membranas de OI é a rejeição de sais, que depende da temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento. A pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução para separar os sais da água. Na prática, a pressão de operação deve superar também a resistência da membrana, a resistência da zona de polarização de concentração e a resistência interna do equipamento. As pressões de operação reais são, portanto, mais elevadas do que a pressão osmótica da solução (Schneider e Tsutiya, 2001). As faixas de pressão de operação das membranas, para diferentes tipos de água tratada estão indicadas na Tabela 9.

Outro grande fator de influência nas condições de operação no processo de dessalinização é a temperatura. A temperatura da água é importante por influenciar nos seguintes parâmetros: acelera reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, acentua a sensação de sabor e odor entre vários outros fatores. Por exemplo, uma diminuição da temperatura de alimentação de 4°C (8°F) causará uma diminuição no fluxo de permeado de aproximadamente 10% (Dow Latin América, 1996).

Um dos fatores principais que influenciam no funcionamento do sistema de osmose inversa e que está diretamente relacionado à formação de incrustações devido a Carbonato de Cálcio é o potencial hidrogeniônico ou pH. Apresenta relações fundamentais com acidez e alcalinidade de modo que é praticamente impossível falar destas sem considerar o pH de uma determinada água.

Tabela 9: Faixas de pressão de operação de sistemas de OI para águas com diferentes níveis de salinidade (Fonte: Schneider e Tsutiya, 2001).

| Tipo de água | Faixa de salinidade<br>STD (mg/L) | Recuperação (%) | Pressão de operação<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------|---|
| salobra      | Até 10.000                        | Até 80          | 5,00 a 20,00                                  |
| marinha      | 10.000 – 100.000                  | ≤ 40            | 51,00 a 71,00                                 |
| salmora      | > 100.000                         | ≤ 20            | -   |

STD = Sólidos totais dissolvidos

As moléculas de água quando se dissociam dividem-se em íons H<sup>+</sup> (Hidrogênio) e OH<sup>-</sup> (Hidroxila). Define-se então pH como o cologarítmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio ( $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ ). O desequilíbrio entre a quantidade desses íons numa determinada água fará com que esta tenha um pH superior a 7,0 (básico com predominância de íons OH<sup>-</sup>) ou inferior (ácido com predominância de íons H<sup>+</sup>). A relação dióxido de carbono-bicarbonatos presentes nas águas naturais é o principal fator de definição do nível do pH, pois o dióxido dissolvido transforma-se em ácido carbônico conferindo acidez a água (Fernandes, 2004).

De um modo geral as alterações naturais do pH têm origem na decomposição de rochas em contato com a água, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica, fotossíntese, além da introdução de despejos domésticos e industriais (Fernandes, 2004).

Do ponto de vista analítico o pH é um dos parâmetros mais importantes na determinação da maioria das espécies químicas de interesse tanto da análise de águas potáveis como na análise de águas residuárias, sendo, pois, uma das mais comuns e importantes determinações no contexto da química da água. No campo do abastecimento de água o pH intervém na coagulação química, controle da corrosão, abrandamento e desinfecção.

Águas com baixos valores de pH tendem a ser agressivas para instalações metálicas. O padrão de potabilidade em vigor no Brasil, preconiza uma faixa de pH

entre 6,5 e 8,5. Normalmente a água apresenta-se boa para ingestão para pH na faixa de 5,5 a 8,0, sob a análise desta característica (Fernandes, 2004).

### 3.4 Polarização de Concentração.

A polarização de concentração refere-se ao fenômeno no qual a concentração de sais dissolvidos próximo à superfície da membrana é maior que a concentração média da água que flui mais distante da superfície da membrana. Devido a este fato a eficiência de separação da membrana diminui gradualmente à medida que a camada de solução concentrada de sais vai paulatinamente aumentando de espessura. Acompanhando o aumento de sais dissolvidos na interface, há um aumento da pressão osmótica da solução, o que, por sua vez, diminui a pressão que impede a passagem da água através da membrana. A polarização por concentração também leva à destruição das superfícies sensíveis da membrana (Dow Latin America, 1996).

A camada de sais dissolvidos junto à superfície da membrana pode atingir uma espessura constante em consequência de um balanço entre dois fatores opostos: o transporte convectivo dos sais para a membrana pelo movimento da água e a difusão dos sais para longe da membrana, provocada pelo gradiente estabelecido na vizinhança da fronteira das fases (Dow Latin America, 1996).

A polarização por concentração é normalmente considerada pelos fabricantes de membranas e projetistas de sistemas quando estão avaliando a possibilidade de formação de incrustações. Tipicamente a concentração de sais junto à superfície da membrana é aproximadamente de 1,1 a 1,4 vezes a concentração da corrente principal (Dow Latin America, 1996).

Em operações com membranas de OI, os solutos e outras espécies presentes na corrente de alimentação são transportados do seio da solução em direção a superfície da membrana através de um mecanismo de convecção. Devido à semipermeabilidade natural da membrana, o soluto presente na corrente de alimentação será retido na interface da membrana (Taylor & Jacobs, 1996).

O processo de polarização de concentração é um fator importante de redução da eficiência de filtração de membranas de OI. Os espaçadores nos canais de

concentrado são projetados com o objetivo de aumentar a turbulência na superfície da membrana, e com isto, reduzir a espessura da camada de polarização de concentração (Schneider & Tsutiya, 2001).

Se a quantidade de sais na zona de concentração-polarização ultrapassar o limite de solubilidade os sais poderão precipitar na membrana. O controle dos processos de precipitação de sais é um dos principais condicionantes de projetos em sistemas de OI.

### 3.5 Formação de Incrustações.

A formação indesejável de depósitos nas superfícies de membranas ocorre quando os sólidos rejeitados não são transportados da superfície da membrana para a corrente do fluxo do concentrado. Em consequência, os sais dissolvidos, os sólidos suspensos e os microorganismos acumulam na superfície da membrana. Em operações de OI, este processo tende a diminuir o desempenho dos elementos de membranas. Podem ser classificadas por quatro categorias: depósitos inorgânicos, depósito coloidal, sólidos em suspensão e material biológico (Amjad, 1992).

Os colóides podem ser de origem mineral ou orgânica, e tendem a coalescer e se aglomerar na área próxima à superfície da membrana depositando-se nela. Os sólidos em suspensão são partículas maiores de origens diversas e que tem tendência a se depositar na superfície da membrana. O depósito orgânico de origem biológica é constituído por fungos e bactérias e apresenta maiores problemas porque estão presentes em praticamente todas as águas e normalmente se multiplicam em determinadas condições (Sousa, 2001).

A Figura 12 destaca as substâncias que geram problemas nos processos de OI por alteração das propriedades seletivas das membranas.

As incrustações são consequências de um conjunto de fenômenos, capaz de provocar a redução do fluxo do permeado e/ou o aumento da passagem de sais com o tempo, quando se trabalha com uma solução ou suspensão (Ghafour, 2002; Habert et al., 1997). A extensão da incrustação depende da natureza da solução problema como também, e de maneira acentuada, das condições de operação do sistema de membrana (Habert et al., 2006).

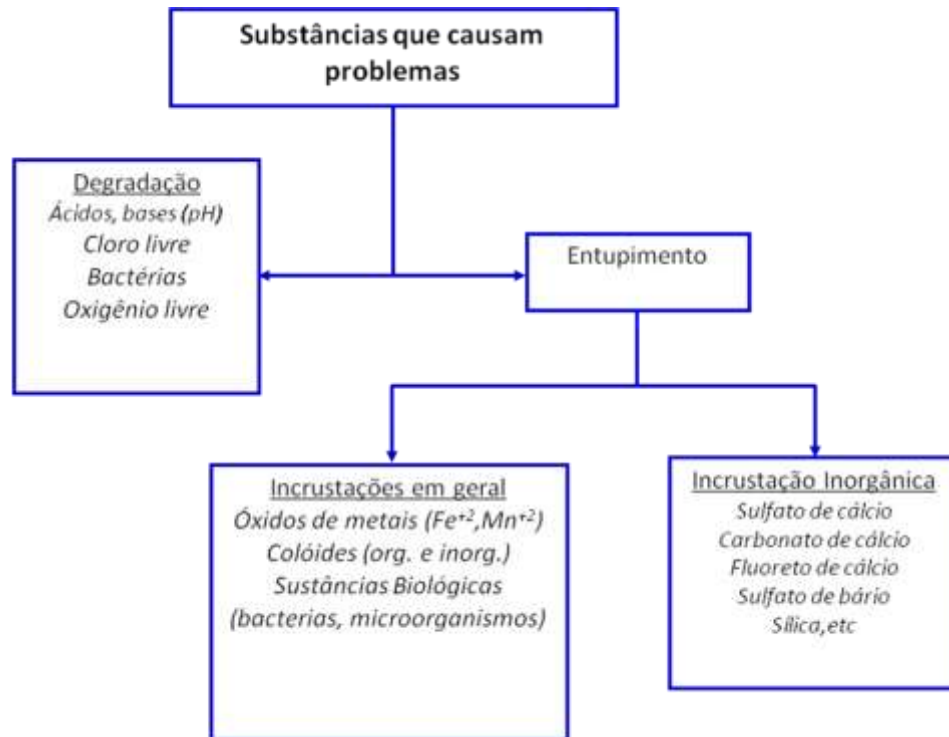


Figura 12. Substâncias que causam danos as membranas (Rautenbach e Albrecht, 1989).

Na prática, os compostos mais críticos para membranas são: sílica, sulfato de cálcio, estrôncio e bário. Um sal precipita quando a concentração dos seus componentes ultrapassa o valor limite correspondente ao produto de solubilidade ( $K_s$ ) e geralmente a precipitação ocorre nos elementos de membranas instalados na saída dos vasos de pressão (Schneider e Tsutiya, 2001).

O bom funcionamento de um sistema de membranas depende diretamente da forma como foi projetado em função da qualidade da água de alimentação. Um dos problemas mais comuns na utilização do processo de dessalinização por osmose inversa é a ocorrência de incrustações quando a água de alimentação do sistema contém determinados constituintes que no decorrer do tempo causam a perda da eficiência na produção de água dessalinizada devido a redução da área de permeação das membranas pela deposição de substâncias na superfície das mesmas. Por esse motivo é de suma importância entender os mecanismos de incrustação, bem como, calcular os potenciais de incrustação da água de alimentação para que seja projetado um pré-tratamento adequado.

As Figuras 13 a 15 ilustram os exemplos de depósitos que se encontram normalmente nas superfícies das membranas (Amjad, 1993).

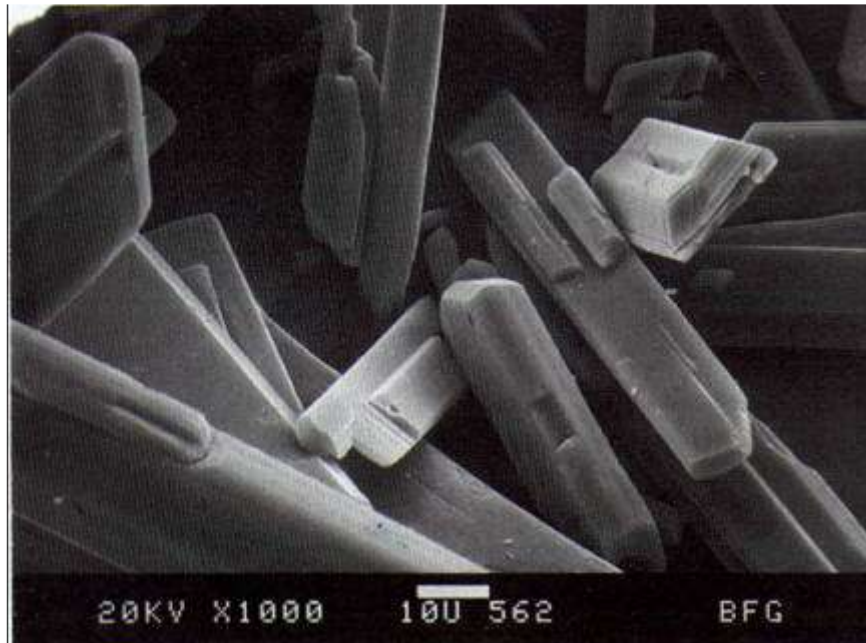


**Figura 13. Sílica (Microscopia eletrônica de varredura, 5.000X).**



**Figura 14. Argila (Microscopia eletrônica de varredura, 1.000X).**





**Figura 15. Cristais de sulfato de cálcio hidratado (Microscopia eletrônica de varredura, 1.000X).**

### 3.5.1 Depósitos Inorgânicos.

Os depósitos inorgânicos são originados de sais normalmente solúveis na água que precipitam e se cristalizam na superfície e dentro dos poros das membranas. Isso é facilmente entendido quando verificamos que na área externa próxima à membrana a concentração de sais é bem superior à concentração do sal na água de entrada, podendo atingir o limite de solubilidade e assim precipitando (Sousa, 2003; Ghafour, 2002). Em casos extremos, o aumento na concentração de sal em sistemas de OI, devido a elevadas recuperações, pode conduzir ao limite de saturação de um ou mais componentes da solução, levando à formação de incrustações na superfície da membrana. Esta formação pode reduzir a eficácia da separação, separar os envelopes da membrana e causar uma redução na turbulência do fluxo, isto resulta em um aumento na polarização de concentração na superfície da membrana (Ghafour, 2002).

As incrustações podem aumentar os custos de operação da planta e comprometer a produção de água. Pode levar a uma troca prematura dos elementos de membrana. Incrustações inorgânicas são controladas geralmente com uso de um inibidor de incrustação, incrustação de material coloidal pode ser controlada com pré-tratamento (por exemplo, processo de UF) (Vrouwenvelder & Kooij, 2002).

### 3.5.2 Incrustação microbiológica.

A incrustação microbiológica é resultado da interação complexa entre o material da membrana, os parâmetros do fluido (tais como substâncias dissolvidas, velocidade do fluxo, pressão, etc.), e os microorganismos. A incrustação microbiológica é basicamente um problema de crescimento do biofilme (Amjad, 1992).

Quando substâncias coloidais e microorganismos entram no módulo de OI e são transportados pela superfície da membrana, estes são adsorvidos formando uma fina camada sobre a membrana. Uma vez fixados, os microorganismos crescem e se multiplicam de acordo com a presença de nutrientes na alimentação, formando o filme biológico, ou biofilme, que compromete o desempenho da membrana, aumentando os custos de operação e manutenção (Mallevalle et. al., 1996).

O controle da incrustação microbiológica depende da interrupção de uma ou de várias etapas na formação do biofilme microbiano. As estratégias de controle podem ser agrupadas nas seguintes categorias (Schneider & Tsutiya, 2001):

- a) Seleção e otimização de pré-tratamentos eficientes para a água de alimentação;
- b) Seleção de membranas apropriadas ao sistema;
- c) Otimização da pressão de filtração e do rendimento para minimizar os efeitos da incrustação microbiológica;
- d) Aumento da velocidade de transporte do meio em direção paralela à membrana para diminuir a taxa de deposição de material particulado;
- e) Otimização dos procedimentos de limpeza química para remoção do biofilme de membrana.

O pré-tratamento da água de alimentação do processo via coagulação, filtração multimeios, microfiltração e aplicação de biocidas impedem a formação da incrustação microbiológica e aumentam a vida útil das membranas, mas estas

medidas aumentam os custos com operação e manutenção do sistema (Brandt et al. 1993).

### 3.6 Pré-tratamento.

As operações com membranas sempre requer alguma medida de pré-tratamento da água de alimentação do processo. O pré-tratamento é a primeira etapa para o controle de incrustações nas membranas. O pré-tratamento mais simples envolve uma micro-filtragem e nenhuma adição química. Entretanto, quando uma água de superfície é tratada, o procedimento de pré-tratamento pode ser complexo incluindo o ajuste do pH, cloração, adição de coagulantes, sedimentação, clareamento, absorção em carvão ativado, adição de complexantes, filtração e uma avaliação final.

Na dessalinização de águas, a osmose inversa, do ponto de vista técnico e econômico, é um dos processos mais versáteis podendo ser usado numa ampla faixa de concentração de sais dissolvidos. Para que se obtenha um desempenho adequado, visando o aumento da produção de água potável e do tempo de vida das membranas, antes do processo de osmose inversa, a água retirada do subsolo ou da superfície deve ser pré-tratada.

O pré-tratamento tem o objetivo de proteger o sistema de membranas na remoção de materiais suspensos e colóides e evitar a proliferação biológica e a formação de incrustações de sais em geral.

Os fatores que devem ser levados em consideração quando o sistema necessita de um pré-tratamento são (Taylor & Jacobs, 1996):

- a) Material no qual é construída a membrana;
- b) Configuração do módulo;
- c) Qualidade da água de alimentação;
- d) Taxa de recuperação;
- e) Qualidade final da água do permeado.

O pré-tratamento da água de alimentação deve envolver uma operação contínua e de confiança, por exemplo: um sistema de clarificação projetado inadequadamente poderá resultar em um desgaste dos filtros por estarem operando além de seus limites. Tais pré-tratamentos inadequados resultam em freqüentes limpezas dos elementos para que possa restaurar a produtividade e a rejeição de sais. O custo da limpeza, o tempo de parada e desempenho perdido do sistema pode ser significativo.

O projeto apropriado para tratamento para a água de alimentação dependerá da fonte de água, composição e aplicação. Uma fonte de água é considerada boa quando o índice de densidade de sedimentos (IDS) é baixo (tipicamente  $< 2$ ), e uma baixa contagem de bactérias. Estas águas requerem tipicamente um sistema de pré-tratamento simples como a adição de ácido, adição de inibidor e um filtro de cartucho de 5  $\mu\text{m}$ . Águas superficiais são caracterizadas por um IDS elevado e por ter uma contagem de microrganismos elevada. O pré-tratamento para este tipo de água é mais elaborado e requer etapas adicionais que incluem freqüentemente a adição de polímeros, clarificação e filtração em filtros multimeios. Uma vez que a fonte de água de alimentação foi determinada, uma análise completa e exata da água deve ser realizada, sendo de grande importância para o projeto do pré-tratamento apropriado e do sistema de OI (FilmTec, 2008).

O pré-tratamento do sistema de OI deve ser cuidadosamente planejado, uma vez que, pesquisas publicadas na literatura sobre a incrustação microbiológica apontam a adição de reagentes antincrustantes como uma das fontes de crescimento do biofilme. Estudos realizados em plantas de OI para produção de água potável mostram que a adição de ácidos no pré-tratamento da água de alimentação para prevenir incrustação por carbonato de cálcio,  $\text{CaCO}_3$ , conduziu a um aumento de biomassa do sistema (Vrouwenvelder et al., 1998).

Um pré-tratamento mínimo requerido para sistemas de OI é um filtro de cartucho com um tamanho de poro menor que 10  $\mu\text{m}$ . É um dispositivo de segurança para proteger as membranas e a bomba de alta pressão das partículas em suspensão. Geralmente é a última etapa de uma seqüência de pré-tratamento. É recomendado usar filtros com 5  $\mu\text{m}$  de porosidade ou menor. O filtro deve ser construído sob medida para uma taxa de fluxo de acordo com a recomendada pelo

fabricante e ser substituído antes que a pressão aumente além limite permitido, a leitura da variação de pressão é um indicio da extensão de sujeira na água.

Os filtros de cartucho devem ser confeccionados de um material não degradável sintético, por exemplo, nylon ou polipropileno. As inspeções regulares dos cartuchos usados fornecem informações úteis a respeito dos riscos de sujar os elementos de membranas. Se a diferença de pressão através dos filtros aumentar rapidamente, é uma indicação de problemas possivelmente na fonte da água de alimentação ou no processo de pré-tratamento. Os filtros fornecem um grau de proteção em curto prazo para as membranas (FilmTec, 2008).

Em se tratando da incrustação microbiológica, o objetivo do pré-tratamento é reduzir ao máximo o risco de formação de biofilmes na superfície da membrana. As medidas mais eficazes incluem a remoção dos microorganismos da água de alimentação e a diminuição da matéria orgânica disponível para o crescimento dos microorganismos. A seleção de membranas deve ser feita especificamente para a água que será tratada (Schneider & Tsutiya, 2001).

O pré-tratamento para redução de incrustações microbiológicas consiste na adição de biocidas ou aplicações (dosagens) intermitentes de biocidas em pequenas quantidades. O método mais comum, eficaz e barato para remoção de microrganismos é a cloração, porém como a maioria das membranas poliméricas tem baixa resistência ao cloro, seu excesso precisa ser removido, por meio de absorção em carvão ativado ou pela adição de bissulfito de sódio (Meyer, 2003). Outros biocidas incluem formaldeído, ozônio, ácido peracético, peróxido de hidrogênio, etc. Sendo que alguns destes são utilizados em pequena escala, com menor eficiência e com efeitos mais prejudiciais ao meio ambiente em comparação com o cloro (Dessouky et al., 2002).

A eficiência de um biocida depende de diversos fatores tais como: tipo, concentração, pH, temperatura, tempo de residência, tipo de microorganismo, estágio de crescimento, natureza física do biofilme e reações paralelas do biocida e seus compostos sobre bactérias e microorganismos. O aumento da concentração de biocida, da temperatura e do tempo de residência do biocida aumenta o percentual de morte dos microorganismos (Dessouky et al., 2002)

Estudos apontam o processo de MF como pré-tratamento para evitar incrustações microbiológicas nos sistemas OI, pois este apresenta uma boa remoção de microorganismos da alimentação do sistema, comparado aos métodos convencionais de pré-tratamento (Byrne, 2002; Gabelich et al., 2003, Oliveira, 2007).

As águas subterrâneas estão geralmente biologicamente estabilizadas, ou seja, possuem baixas cargas de microorganismos formadores de biofilmes e baixa disponibilidade de compostos orgânicos utilizados por estes microorganismos (Schneider e Tsutiya, 2001).

### 3.7 Indicadores de Incrustações.

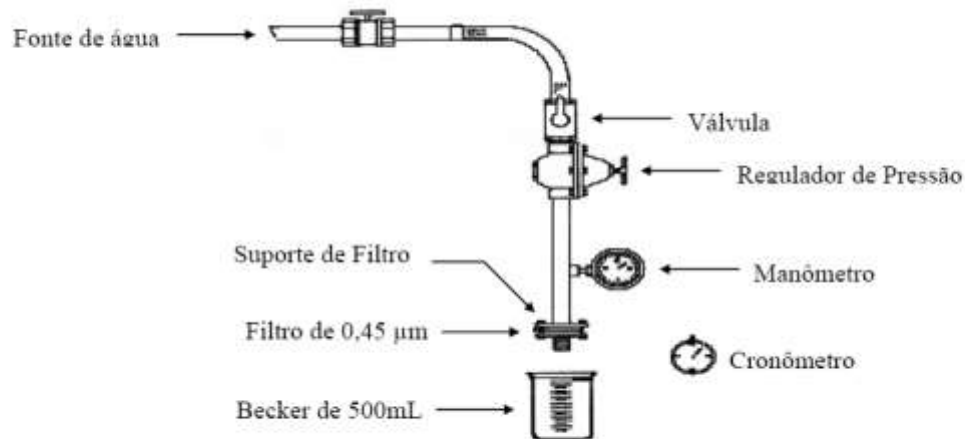
O desempenho de um sistema de membranas depende diretamente da forma como foi projetado o sistema em função da qualidade da água de alimentação. Sabe-se que há uma tendência em função do tempo de operação dos componentes presentes na água de alimentação bloquear as membranas. O desempenho dos sistemas de membranas, custo de operação, exigências de pré-tratamento, frequência de limpezas são afetados por estes bloqueios nas membranas (Taylor, 1996).

A fonte dos sedimentos ou dos colóides nas águas de alimentação de sistemas de OI é variada e incluem frequentemente bactérias, argila, sílica coloidal, e os produtos da corrosão a partir do ferro. Produtos químicos usados na clarificação de águas como alumínio, cloreto férrico, polieletrólitos catiônicos também podem causar sujeira nas membranas e não são removidos com filtração (Filmtec, 2008).

#### 3.7.1 Índice de Densidade de Sedimentos.

A tendência de bloqueio das membranas pode ser avaliada em testes específicos de determinação de índices de incrustação. O índice mais utilizado é o Índice de Densidade de Sedimentos (IDS).

O equipamento básico, conforme mostra a Figura 16, consiste de um sistema de filtração pressurizada equipado com filtros de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade e diâmetro de 47 mm. A amostra deve ser filtrada a uma pressão de 30 psig (2,1  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) (Taylor, 1996).



**Figura 16. Equipamento básico para medição do IDS (Amjad, 1993).**

O IDS é calculado a partir de três intervalos de tempo: o primeiro intervalo ( $t_i$ ) é o tempo necessário para a coleta dos primeiros 500 mL de permeado, o segundo intervalo ( $t_f$ ) é o tempo necessário para a coleta dos últimos 500 mL de permeado. O terceiro intervalo de tempo ( $t_t$ ) varia de 5, 10 ou 15 min, o qual é o intervalo de tempo entre o término da coleta dos primeiros 500 mL de permeado e o início da coleta dos próximos 500 mL de permeado. O tempo padrão para o  $t_t$  é 15 min. O IDS é determinado através da Equação 18 (Taylor, 1996):

$$IDS = \frac{100 \left[ 1 - \left( \frac{t_i}{t_f} \right) \right]}{t_t} \quad (18)$$

O teste de IDS é um teste de fouling por filtração frontal. Esse teste não reflete com exatidão as condições de acúmulo de material em sistemas operados por filtração tangencial, ou em sistemas de filtração frontal com retrolavagem periódica da membrana (Schneider e Tsutiya, 2001).

Em geral, os sistemas de OI que operam com fontes de água de alimentação com valores de IDS menores que 1 se encontram funcionando há anos sem

problemas, aqueles que operam com fontes que tem valores de IDS menores que 3 funcionam por meses sem necessidade da limpeza da membrana.

Entretanto, os sistemas que operam em fontes de água com valores de IDS entre 3 e 5 são submetidos a limpezas químicas regularmente e são considerados sistemas problemáticos. Valores de IDS acima de 5 não são aceitáveis (Amjad, 1993).

A determinação do IDS é essencial em todos os projetos de membranas, mas assume importância especial em sistemas de OI, onde a qualidade da água de alimentação deve atender a valores máximos com respeito aos índices de fouling estipulados pelos fabricantes. Águas com índices excessivos de fouling podem causar o bloqueio irreversível de módulos espirais, e devem ser submetidas a algum tipo de pré-tratamento que produza um efluente com características adequadas, para processamento por membranas (Schneider e Tsutiya, 2001).

Geralmente, os fabricantes de membranas especificam a faixa de operação de IDS para suas membranas. Existem várias técnicas disponíveis para levar o IDS requerido, fazendo uso de sistemas de filtros multi-meios ou combinação com coagulantes.

### 3.7.2 Índice de Saturação de Langelier.

Para evitar a formação de incrustações de carbonato de cálcio, comumente se usa a injeção de ácido clorídrico na água de alimentação, que converte o carbonato para dióxido de carbono. Esse tipo de pré-tratamento leva o Índice de Saturação de Langelier (ISL) ou o Índice de Estabilidade de Stiff e Davis do concentrado do sistema de dessalinização a tornarem-se negativos (Strantz, 1982).

Em algumas situações a injeção ácida no pré-tratamento pode ser minimizada ou eliminada por abrandadores para reduzir a dureza (cálcio e magnésio) ou por adição de inibidores poliméricos orgânicos que tem a função de retardar a precipitação. Normalmente, a escala do potencial de incrustação destes materiais pode ser estimada pelas suas constantes de solubilidades na corrente do concentrado e podem ser retardados pela adição de inibidores ou pela redução da recuperação do sistema.



O ISL é um parâmetro usado para prever a estabilidade do carbonato de cálcio da água, isto é, se uma água irá precipitar, dissolver ou ficar em equilíbrio com o carbonato de cálcio (Edstrom, 2003).

A avaliação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio em águas salobras com sólidos totais dissolvidos (STD) até 10.000 mg/L é avaliado através do valor do ISL, enquanto que, o Índice de Estabilidade de Stiff e Davis (S&DSI) é utilizado em água de salinidades altas (Filmtec, 2008; Schneider e Tsutiya, 2001). Os dois índices são calculados pela mesma fórmula (Equação 16), mas diferem no fator de correção da salinidade, que no ISL é baseado no STD da solução e no S&DSI, no poder iônico da solução (Schneider e Tsutiya, 2001).

$$ISL = pH_c - pH_s \quad (19)$$

Onde: ISL é o Índice de Saturação de Langelier,  $pH_c$  é o pH do concentrado e  $pH_s$  é o pH no qual o concentrado fica saturado com  $CaCO_3$ .

O  $pH_s$  é calculado pela seguinte equação (Schneider e Tsutiya, 2001):

$$pH_s = pC_a + pAlc + C(STD) \quad (20)$$

Onde:  $pC_a$  e  $pAlc$  são os logaritmos negativos da concentração de  $Ca^{2+}$  e da alcalinidade (na forma de  $CaCO_3$ ), respectivamente. O fator de correção  $C$  é calculado a partir da concentração de sólidos totais dissolvidos e podem ser obtidos a partir de gráficos com base no cálculo das concentrações dos componentes no concentrado ou na superfície da membrana.

O  $pH_s$  também pode ser calculado através da Equação 21 (Mindler, 1986):

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (21)$$

Onde:

$$A = \frac{(\text{Log}[STD] - 1)}{10} \quad (22)$$

$$B = -13,12 * \text{Log}[^{\circ}C + 273] + 34,55 \quad (23)$$

$$C = \text{Log}[Ca^{+2} \text{ como } CaCO_3] - 0,4 \quad (24)$$

$$D = \text{Log}[\text{Alcalinidade como } CaCO_3] \quad (25)$$

Neste caso, A é um fator que depende da concentração total de sólidos dissolvidos, B depende da temperatura, o fator C depende da concentração de cálcio e D é um fator que depende da alcalinidade (Mindler, 1986).

Valores de ISL negativos indicam que não há potencial de precipitação de carbonato de cálcio. Se o ISL for positivo, indica que a precipitação do carbonato de cálcio poderá ocorrer. Para valores de índice cada vez mais positivos, o potencial de precipitação aumenta (Ning, 2002; Edstrom, 2003).

Para valores de ISL iguais a zero, não haverá potencial de precipitação do carbonato de cálcio, mas pequenas variações de concentração e temperatura podem mudar o índice (Edstrom, 2003).

Para evitar a precipitação de carbonato de cálcio, o índice ISL da água de alimentação deve ser negativo. Quando é feita correção de pH ou adição de anti-incrustante, o valor de ISL deve ficar abaixo do valor estipulado para esses tratamentos, geralmente entre 1,0 e 1,5 (Schneider e Tsutiya, 2001). O ISL e o S&DSI são usados por alguns fabricantes de membranas de OI para auxiliar o uso de produtos químicos no pré-tratamento da água de alimentação (Ning, 2002).

É importante ressaltar que o potencial de formação de precipitado químico na superfície da membrana não é condicionado somente pela composição química da água bruta. O uso de cloreto férrico ou sais de alumínio na etapa de coagulação em processos de pré-tratamento pode comprometer seriamente o fluxo das membranas de OI pela formação de precipitados químicos (Schneider e Tsutiya, 2001).

### 3.7.3 Indicadores de Incrustações de Sulfato

Para determinar o potencial de incrustação de sulfato de cálcio,  $CaSO_4$ , tem-se que comparar o valor do produto iônico da água do concentrado,  $Ip_c$ , com o produto de solubilidade,  $Ks_c$ , do concentrado nas mesmas condições. Utilizam-se as seguintes equações (Filmtec, 2008):

$$Ip_c = \left[ (Ca^{+2})_a * (SO_4^{-2})_a \right] * FC \quad (26)$$

$$Ks_c = \gamma_{Ca} [Ca^{+2}] * \gamma_{SO_4} [SO_4^{-2}] \quad (27)$$

Onde:  $[Ca^{+2}]$  e  $[SO_4^{-2}]$  é a concentração molar dos respectivos componentes,  $\gamma$  é o coeficiente de atividade dos componentes do sal na solução e o fator de concentração  $FC$  é dado pela Equação 16. Os coeficientes de atividade  $\gamma$  são unitários para solução com baixas concentrações de sais (água doce). Em águas salobras e salinas, estes coeficientes devem ser corrigidos, por exemplo, através da equação de Debye-Hückel, que determina a relação entre o logaritmo do coeficiente de atividade, as cargas elétricas dos componentes do sal ( $z, y$ ) e a força iônica da solução ( $I$ ) (Stumm, 1996; Van de Lisdonk et al, 2000).

$$\log \gamma_{ab} = -0,509 z y \sqrt{I} \quad (28)$$

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2 \quad (29)$$

Se  $Ip_c \geq Ks_c$ , ocorre formação de incrustação e um ajuste é requerido. O cálculo do potencial de incrustação de sulfato de bário e sulfato de estrôncio é análogo ao procedimento escrito para o sulfato cálcio. Para o sulfato de estrôncio se o  $Ip_c \geq 0,8Ks_c$ , ocorre a formação de incrustação e um ajuste é requerido.

#### 3.7.4 Estimativa do Potencial de Incrustação de Sílica.

O potencial de incrustação de sílica existe quando a concentração da sílica dissolvida excede o limite de solubilidade da sílica para uma dada condição operacional. Uma vez incrustada, é bastante difícil remover a sílica sem provocar danos à membrana (Bremere, 2000).

A solubilidade da sílica varia largamente com a temperatura e pH do meio, a presença de sais também afeta sua solubilidade. Em soluções de baixas concentrações de sílica, na faixa de 50 mg/L, a solução não se encontra supersaturada, não há polimerização no seio da solução, mas o efeito da

concentração de polarização na superfície da membrana existe, podendo ocorrer precipitação de sílica monomérica (Sheikholeslami et al, 2001).

Segundo Semiat (2001) os limites de incrustação de sílica são difíceis de prever, pois são influenciados por um grande número de parâmetros e, além disso, o complexo processo de deposição da sílica ainda não é totalmente compreendido. Os dados do “seio” da solução são, na grande maioria das vezes, diferentes das condições na superfície da membrana em função da concentração de polarização. O fenômeno de incrustação em OI é governado pelas condições de supersaturação que prevalecem na superfície da membrana.

A concentração de polarização se refere ao gradiente de concentração na superfície da membrana criado por uma pequena taxa de re-diluição do sal que fica próximo à superfície após a permeação da água. A extensão da concentração de polarização depende da turbulência no seio da solução. Tem sido estimado, que para um elemento de membrana em espiral, a concentração de sais na superfície da membrana é de 13 a 20% maior que no seio da solução (Byrne, 2002).

De acordo com Byrne (2002) quando a concentração da sílica na corrente do concentrado é superior a 20 mg/L, seu potencial de formação de incrustação precisa de avaliado e controlado. Em Filmtec (2008) encontra-se uma metodologia proposta para calcular o potencial de incrustação da sílica, considerando-se os seguintes dados da água de alimentação do sistema:

- concentração de sílica (mg/L);
- temperatura (°C);
- pH;
- alcalinidade total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>).

Essa metodologia faz uso de três figuras, que se encontram disponíveis no Anexo 7.1 desse relatório, são os Gráficos 1, 4 e 5.

Calcula-se a recuperação do sistema através da Equação 8 e em seguida estima-se a concentração na corrente do concentrado.

$$SiO_2c = SiO_2 \cdot \left( \frac{1}{1-r} \right) \quad (30)$$

Com os dados de pH e alcalinidade total da solução, estima-se a concentração de CO<sub>2</sub> dissolvida no meio, que é considerada idêntica tanto na alimentação como no concentrado; esta estimativa é realizada utilizando-se o Gráfico 1.

Calcula-se a alcalinidade total na corrente do concentrado.

$$Alc_c = Alc \cdot \left( \frac{1}{1-r} \right) \quad (31)$$

Através do CO<sub>2</sub> estimado e da alcalinidade do concentrado calculada, estima-se o pH na corrente do concentrado; novamente utiliza-se o Gráfico 1.

Em seguida, estima-se a solubilidade da sílica na temperatura de operação do processo, através do Gráfico 2.

Como o pH da solução afeta diretamente a solubilidade da sílica, estima-se um fator de correção (FC), através do Gráfico 3, com este fator calcula-se a solubilidade da sílica corrigida - (S)SiO<sub>2</sub>Corr.

$$(S)SiO_2corr = FC \cdot SSiO_2 \quad (32)$$

Realiza-se uma comparação entre a concentração da sílica na corrente do concentrado e a solubilidade da sílica corrigida. Se for maior, a incrustação de sílica pode ocorrer, e se faz necessário um ajuste nas condições operacionais e/ou um pré-tratamento para remoção da sílica. Essa metodologia para cálculo do potencial de incrustações da sílica possui uma séria limitação uma vez que estima ou calcula dados referentes ao seio da solução, desprezando os efeitos da concentração de polarização. Sabe-se que a formação das incrustações durante o processo de OI é regido pela supersaturação na superfície da membrana.

### 3.8 Limpeza Química.

Os ciclos de limpeza química ocorrem em intervalos de semanas a meses, dependendo da gravidade do problema de incrustação. Cada ciclo demora entre 45 minutos a 24 horas, dependendo da dificuldade de remoção do biofilme e/ou do material precipitado, e normalmente, restaura o fluxo das membranas para valores próximos do fluxo inicial. Um ciclo de limpeza química é desencadeado quando os parâmetros de operação (fluxo ou pressão) atingem valores pré-determinados (Schneider & Tsutiya, 2001). Em sistemas de OI, os ciclos são iniciados quando for atingido um dos seguintes parâmetros (Schneider & Tsutiya, 2001; FilmTec, 2008):

- a) Diminuição do fluxo normalizado em cerca de 10%;
- b) Aumento da pressão em 15%;
- c) Aumento da passagem de sais normalizada em 5%.

A aplicação de ciclos de limpeza química, em intervalos adequados, impede o comprometimento irreversível da membrana e o crescimento excessivo de biofilmes. A efetividade do processo de limpeza depende da formulação da solução de limpeza, da frequência de aplicação e do protocolo de aplicação. A limpeza ácida é geralmente empregada para a remoção de depósitos inorgânicos, enquanto que, depósitos orgânicos e biofilmes são removidos com formulações alcalinas (Schneider & Tsutiya, 2001).

O pH da solução de limpeza deve ser compatível com a faixa de pH da membrana. A temperatura da solução de limpeza é outro fator importante a ser considerado no processo. Soluções com temperaturas mais elevadas são geralmente mais eficientes para a limpeza de membranas.

Existem cinco categorias de agentes de limpeza: soluções alcalinas, ácidas, agentes metálicos quelantes, surfactantes e enzimas. Normalmente os produtos comerciais oferecem uma mistura destes componentes, mas na maioria dos casos sua composição química é desconhecida (Ang et al., 2006).

Os peróxidos também são ótimos agentes de limpeza devido ao poder oxidante em relação à matéria orgânica presente nas incrustações. O peróxido de

carbamida ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ ) e o peróxido de hidrogênio foram investigados e apresentaram ótimos resultados como agentes de limpeza para membranas de osmose inversa, sendo que o peróxido de hidrogênio mostrou resultados superiores. A observação da ação do peróxido de oxigênio sobre o alginato de sódio (polissacarídeo produzido por bactérias, fungos e algas) mostrou uma degradação na estrutura do mesmo (Oliveira, 2007). O alginato tem sido muito utilizado para investigação dos mecanismos de deposição de biomoléculas em membranas de osmose inversa (Lee et al, 2006).

Uma das técnicas mais recentes para limpeza dos módulos de membranas de osmose inversa é o escoamento bifásico, que consiste na aplicação de uma corrente de ar juntamente com a água. Embora relativamente nova, constitui numa técnica limpa e economicamente viável.

Oliveira observou que o uso do escoamento bifásico nos procedimentos de limpeza apresentou melhores resultados para altas vazões, embora em alguns casos, após a limpeza, a rejeição salina tenha ficado reduzida (Oliveira, 2007).

### 3.9 Metodologia para implantação ou recuperação de sistemas de dessalinização

O componente de Dessalinização do Programa Água Doce tem como principais ações a formação de recursos humanos, recuperação e instalação de dessalinizadores e implantação de unidades demonstrativas. Visando o aumento da disponibilidade de água e o conseqüente implemento da oferta hídrica em situações específicas, considerando as características do semiárido, a alternativa técnico-econômica e social mais viável identificada tem sido a da dessalinização de águas salobras, objetivando o atendimento da demanda de consumidores de diferentes portes. Estas águas tratadas e com padrões de qualidade compatíveis com as normas nacionais, serão utilizadas, prioritariamente, para o consumo humano (Documento Base, 2010).

A metodologia adotada para a recuperação ou implantação dos sistemas de dessalinização deve obedecer às seguintes etapas:

- Formação dos núcleos estaduais e grupos gestores, constituídos por técnicos dos órgãos gestores dos estados atendidos pelo Programa Água Doce;
- Elaboração de material didático para a capacitação de técnicos e operadores;
- Capacitação de técnicos dos núcleos gestores estaduais na operação e no diagnóstico de sistemas de dessalinização via osmose inversa;
- Definição das comunidades que serão atendidas na recuperação dos dessalinizadores, em função dos parâmetros de criticidade utilizados pelo programa e que compõem o Índice de Condição de Acesso à Água – ICAA.
- Visita técnica às localidades para realização de diagnósticos técnicos dos dessalinizadores e coleta de amostras de águas para fins de análise físico-química, realizadas pelos técnicos capacitados;
- Análise dos diagnósticos técnicos dos dessalinizadores e elaboração de planilhas quantitativas de componentes dos dessalinizadores que necessitam serem substituídos e/ou realizar algum tipo de manutenção, no caso de sistemas que podem ser recuperados.
- Análise dos diagnósticos técnicos e elaboração de projetos de dessalinizadores com base em parâmetros, tais como: vazão do poço, composição química da água do poço e demanda de água potável pela comunidade, quando a implantação de novos sistemas de dessalinização é necessária.
- Acompanhamento da recuperação e instalação dos dessalinizadores após a escolha das comunidades que receberam os sistemas de dessalinização e/ou sistemas produtivos;
- Realização de cursos de capacitação de operadores de sistemas de dessalinização;
- Participação no fechamento dos acordos de gestão dos dessalinizadores;



- Acompanhamento e monitoramento dos dessalinizadores recuperados e instalados juntamente com o núcleo gestor de cada estado.

Em cada estado, no qual o PAD está em execução, às atividades vem sendo realizadas em três fases distintas que compreendem a realização de um diagnóstico socioambiental e técnico nas comunidades, a implantação ou recuperação de sistemas de dessalinização nas comunidades selecionadas e o monitoramento e a manutenção destes sistemas.

Na primeira fase são realizadas as visitas técnicas às comunidades. Durante essas visitas, os técnicos do Programa Água Doce realizam as seguintes atividades: determinam o número de poços disponíveis, coletam amostra(s) de água do(s) poço(s), observam as suas condições de funcionamento, solicitam a realização de teste de bombeamento para determinação da vazão do poço escolhido, identificam os dessalinizadores existentes, observam as suas condições técnicas e de funcionamento, coletam amostras de água da alimentação e efluentes do dessalinizador (permeado e concentrado), fazem contato com a comunidade e seu líder ou prefeito e identificam o número de habitantes que serão beneficiados com água dessalinizada.

A partir das análises físico-químicas das amostras de água dos poços, há condições de definir o projeto do dessalinizador, que consiste em identificar: os melhores elementos de membranas, condições de funcionamento em função da qualidade da água bruta e tipo de pré-tratamento da água bruta. Esse tratamento visa à proteção dos elementos de membranas contra vários fenômenos de incrustações e pode ser realizado por meio de filtros ou pela adição de produtos anti-incrustantes, dependendo da composição físico-química da água bruta.

Na segunda fase, durante a instalação dos equipamentos, recomenda-se a presença de pessoas que ficarão responsáveis pelos sistemas, visando acompanhar os passos de instalação. Ressalta-se que todos os operadores do dessalinizador participem de um curso de capacitação. A capacitação é realizada na própria comunidade onde está implantado o sistema e ocorre com aulas teóricas sobre os componentes do dessalinizador, seus funcionamentos e importância, além dos cuidados com a higiene, manuseio e distribuição da água. No segundo momento é

realizada a aula prática no campo mostrando toda a operação e todos os procedimentos a serem seguidos pelo operador, proporcionando o funcionamento correto do sistema e mantendo a qualidade da água.

Após a implantação dos sistemas de dessalinização, na terceira fase, é necessário realizar a sua manutenção periódica. Essa etapa requer o acompanhamento das atividades de manutenção periódica dos sistemas de dessalinização instalados e realizadas pela empresa contratada. Esse acompanhamento deve ser realizado por técnicos e consultores treinados nos estados. Essa manutenção se traduz na qualidade e na quantidade de água produzida no processo e no prolongamento do tempo de vida útil do sistema.

O monitoramento dos dessalinizadores deve ser realizado através de visitas periódicas aos sistemas por uma empresa qualificada e acompanhado pelos consultores, técnicos do grupo gestor e/ou do PAD. Nestas visitas são coletados os dados das variáveis de medidas dos dessalinizadores, como também é realizada coleta de amostras de águas das correntes de alimentação, permeado e concentrado para realização de análises.

Após iniciar o funcionamento do dessalinizador é realizada uma reunião juntamente com a comunidade para fechamento do Acordo de Gestão do Dessalinizador. O acordo gestão do dessalinizador é um documento elaborado e aprovado pela comunidade, no qual estão estabelecidas as regras que irão definir os direitos e os deveres de todas as pessoas beneficiadas pela água doce e pela utilização do concentrado. Os Acordos permitem o controle e a participação das comunidades nas atividades necessárias à garantia da oferta de água de boa qualidade para as famílias beneficiadas.

### 3.10 Etapas para projetar um sistema de membranas por Osmose Inversa.

O projeto de um sistema de membranas é fundamental para obter o melhor desempenho no tratamento da água que se deseja produzir. Existem diversas variáveis que podem afetar a produtividade de um sistema. Um sistema completo de tratamento de água por osmose inversa consiste nas seguintes partes: pré-tratamento, sistema de membranas e pós-tratamento. O sistema de membranas

possui uma corrente de alimentação (água que será tratada) e efluentes do permeado e concentrado.

O desempenho de um sistema de osmose inversa depende principalmente do fluxo do permeado e da rejeição de sais. Estes sempre estão relacionados com a composição da água de alimentação, pressão aplicada no sistema, temperatura e recuperação. O objetivo do projeto de um sistema de membranas de osmose inversa para um determinado fluxo de permeado é minimizar custos com a pressão de alimentação e membranas, enquanto a qualidade do permeado e a recuperação do sistema são otimizadas.

Para projetar um sistema com membranas existem vários softwares disponíveis pelos fabricantes, como por exemplo, o software ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) da Dow Chemical que oferece recomendações de projeto precisas para otimizar o desempenho do sistema.

As etapas para projetar um sistema de membranas são descritas a seguir (Filmtec, 2008):

Etapa 1: Estudo detalhado da fonte de alimentação do sistema.

O projeto de um sistema de membranas de osmose inversa depende da fonte de alimentação disponível e da finalidade para qual se deseja tratá-la. A coleta de informações sobre o projeto e a análise da água de alimentação deve, portanto, serem realizadas em primeiro lugar. Dentre estas informações, podemos citar como relevantes: a vazão de alimentação, a vazão do permeado e a qualidade da água de alimentação e do permeado que se deseja produzir.

A análise físico-química da fonte de alimentação deve fornecer dados da concentração de sais na água em Totais de Sólidos Dissolvidos TDS (mg/L), pH, temperatura (°C) e as concentrações dos íons individuais (mg/L).

Etapa 2: Seleção da configuração de fluxo e número de passos do sistema.

A configuração de fluxo padrão para um sistema de membrana é fluxo de pistão (Plug Flow), onde o volume da alimentação é passado uma vez através do

sistema. Em condições ideais não há intercâmbios entre as seções de jusante e de montante num sistema operando com fluxo de pistão. A recirculação do concentrado é comum a sistemas menores, usados em aplicações comerciais, bem como em sistemas maiores, quando o número de elementos de membranas é pequeno para alcançar uma recuperação suficientemente elevada com Plug Flow. Sistemas de recirculação de concentrado também podem ser encontrados em aplicações especiais como, por exemplo, tratamento de esgotos.

Um sistema de osmose inversa geralmente é projetado para operação contínua e as condições de funcionamento de cada elemento de membrana na planta são constantes com o tempo. Em certas aplicações, no entanto, o modo de operação em batelada é usado, quando volumes relativamente pequenos da água de alimentação são passados no sistema de forma descontínua. A água de alimentação é coletada em um reservatório e é tratada em determinados períodos de tempo. Uma modificação da operação em batelada é quando a água de alimentação é continuamente repostada no reservatório durante a operação do sistema.

Um sistema de passo duplo (Double Pass) é a combinação de dois sistemas convencionais de osmose inversa onde o permeado do primeiro sistema (primeira passagem) torna-se a alimentação para o segundo sistema (segunda passagem). A produção de água para uso farmacêutico e médica são as aplicações típicas dos sistemas Double Pass. Como uma alternativa para uma segunda passagem, resinas de troca iônica também podem ser utilizadas.

### Etapa 3: Seleção do tipo de membrana.

Os elementos de membranas são selecionados de acordo com a salinidade da água de alimentação, tendência da água de alimentação a incrustação, rejeição de sais exigida e consumo de energia. O tamanho padrão do elemento de membrana para sistemas com vazões maiores que  $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$  é 8" de diâmetro e 40" de comprimento. Os elementos de membranas menores estão disponíveis para sistemas com vazões menores.

A Tabela 10 mostra recomendações da Filmtec para escolha do tipo de membrana de acordo com o TDS da alimentação, vazão e qualidade do permeado que se deseja produzir. Estas recomendações não são obrigatórias, mas sugestões para selecionar o elemento de membrana adequado para um sistema que será projetado. A escolha final depende também de requisitos específicos e condições de funcionamento do sistema. Cada fabricante possui catálogos com recomendações de projeto que devem ser consideradas na escolha do elemento de membrana.

Etapa 4: Seleção do fluxo médio do elemento de membrana (fluxo de projeto).

Os sistemas de osmose inversa são geralmente projetados para uma determinada vazão do permeado ( $m^3/h$ ) e uma recuperação específica. Estes dados e o tipo da fonte de alimentação de água são as informações necessárias para estimar o número de elementos de membrana, de vasos de pressão e estágios do sistema.

O fluxo de projeto ( $L/m^2h$ ) ou fluxo médio do elemento de membrana pode ser encontrado nos manuais e catálogos dos fabricantes de membranas e a seleção geralmente é realizada com base em dados piloto, experiência do cliente ou de acordo com a fonte de alimentação.

Etapa 5: Cálculo do número de elementos de membranas necessários.

O número de elementos de membranas do equipamento deve ser calculado considerando a vazão do permeado, o fluxo médio de projeto da membrana e a área superficial ativa da membrana, sendo os dois últimos parâmetros tabelados e encontrados nos catálogos dos fabricantes de membranas.

O número de elementos de membranas,  $N_E$ , é dado pela seguinte equação (Filmtec, 2008):

$$N_E = \frac{Q_P}{f \cdot A} \quad (33)$$

Onde:  $Q_P$  é a vazão do permeado em L/h,  $f$  é o fluxo médio do elemento de membrana em L/m<sup>2</sup>h e  $A$  é a área ativa da superfície do elemento de membrana selecionado em m<sup>2</sup>.

Tabela 10: Recomendações do tipo de membrana em função da concentração de sais na alimentação e da vazão e qualidade do permeado (Fonte: Filmtec, 2008).

| Tipo de membrana | STD da alimentação (ppm) | Vazão do permeado (gpm) | STD do permeado (ppm)             |
|------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| TW               | < 5000                   | Elemento 4": máx. 25    | < 50                              |
|                  |                          | Elemento 8": mín. 10    |                                   |
| XLE, LE          | < 1000                   | Elemento 4": máx. 25    | < 50                              |
|                  |                          | Elemento 8": mín. 10    |                                   |
| BW, FR           | < 5000                   | Elemento 4": máx. 25    | < 50                              |
|                  |                          | Elemento 8": mín. 10    |                                   |
| SW               | 3000 a 15000             | Elemento 4": máx. 25    | < 150                             |
|                  |                          | Elemento 8": mín. 10    |                                   |
| SWHR, SWHR LE    | 10000 a 50000            | Elemento 4": máx. 25    | Concentrações variadas<br>(< 500) |
|                  |                          | Elemento 8": mín. 10    |                                   |
| NF               | < 1000                   | Elemento 4": máx. 25    | < 150                             |
|                  |                          | Elemento 8": mín. 10    |                                   |

STD = Sólidos totais dissolvidos; ppm = partes por milhão; 1 ppm = 1 mg/L; gpm = galões por min; 25 gpm = 5,68 m<sup>3</sup>/h; 10 gpm = 2,27 m<sup>3</sup>/h.

Etapa 6: Cálculo do número de vasos de pressão.

O número de vasos deve ser calculado considerando o número de elementos de membranas e o número de elementos por vaso, conforme equação seguinte (Filmtec, 2008):

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EpV}} \quad (34)$$

Onde:  $N_v$  é o número de vasos,  $N_E$  é o número de elementos de membranas e  $N_{Epv}$  é o número de elementos de membranas por vaso.

O resultado obtido deve ser arredondado para o inteiro mais próximo.

Para sistemas em grande escala, os vasos de pressão com 6 elementos de membranas são mais utilizados, porém, vasos que comportam 8 elementos também estão disponíveis. Para sistemas de pequeno porte, vasos menores podem ser utilizados, com apenas um ou alguns elementos de membranas, projetados principalmente com os elementos em série e recirculação do concentrado para manter a taxa de fluxo adequada através dos canais de alimentação.

Etapa 7: Seleção do número de estágios.

Os sistemas de osmose inversa podem ser de estágio simples (single-stage) ou de estágios múltiplos (multi-stage), ambos podem ser do tipo Plug Flow ou com recirculação do concentrado. O número de estágios é definido pela quantidade de vasos de pressão em série que a alimentação atravessará até sair do sistema e ser descarregada como concentrado. Cada estágio consiste num certo número de vasos de pressão em paralelo.

O número de estágios é determinado em função da recuperação do sistema, do número de elementos por vaso e da qualidade da água de alimentação. Quanto maior a recuperação do sistema e pior a qualidade da água de alimentação, mais longo o sistema será, com mais elementos em série.

A Tabela 11 mostra a relação entre a recuperação e o número de estágios para sistemas alimentados com águas salobras.

Os sistemas com um estágio podem ser projetados para altas recuperações se a recirculação do concentrado for utilizada. Em sistemas de osmose inversa para dessalinização de água do mar, as recuperações são menores do que nos sistemas para dessalinização de águas salobras e o número de estágios também depende da recuperação.

Tabela 11: Número de estágios de um sistema de água salobra (Filmtec, 2008).

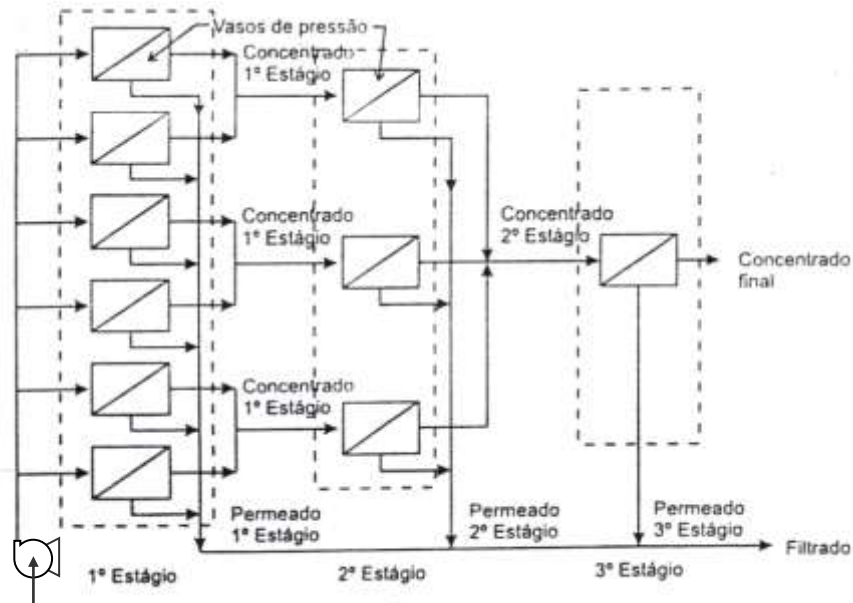
| Recuperação (%) | Número de elementos em série | Número de estágios<br>(6 elementos de membranas por vaso) |
|-----------------|------------------------------|---|
| 40 - 60         | 6                            | 1   |
| 70 - 80         | 12                           | 2   |
| 85 - 90         | 18                           | 3   |

Etapa 8: Seleção da proporção do arranjo de estágios.

Um conjunto de bancos operando a partir de uma única bomba é denominado de arranjo. Os arranjos são classificados a partir do número de vasos de pressão em cada série. Por exemplo, um arranjo 6:3:1 (Figura 17) consiste de três estágios, sendo que há seis vasos de pressão em paralelo no banco do primeiro estágio, três vasos em paralelo no banco do segundo estágio e um vaso no terceiro estágio (Schneider & Tsutiya, 2001).

Para um sistema com quatro vasos no primeiro estágio e dois vasos no segundo estágio a proporção do arranjo é 2:1. Um sistema de três estágios com quatro, três e dois vasos na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente, tem uma proporção de 4:3:2. Em sistemas de água salobras, a proporção entre dois estágios subseqüentes geralmente aproxima-se de 2:1, para vasos com 6 elementos de membranas, e é menor do que aquela proporção para vasos mais curtos. Em sistemas de dessalinização da água do mar com dois estágios e com vasos de 6 elementos, a proporção típica é 3:2 (Filmtec, 2008).





**Figura 17. Arranjo 6:3:1 de módulos equipados com elementos espirais (Schneider & Tsutiya, 2001).**

Etapa 9: Balanço do fluxo do permeado.

A taxa de fluxo permeado dos elementos de membranas finais do sistema é normalmente menor que a taxa de fluxo dos elementos de membranas iniciais. Este é um resultado da queda de pressão na corrente da alimentação e o aumento da pressão osmótica da corrente da alimentação à medida que se transforma na corrente do concentrado. A diferença entre a taxa de fluxo permeado no primeiro elemento e no último elemento de membrana pode se tornar muito elevada sob determinadas condições:

- Alta recuperação do sistema.
- Alta salinidade da alimentação.
- Membranas de baixa pressão.
- Alta temperatura da água.
- Membranas novas.

O objetivo de um bom projeto é equilibrar a taxa de fluxo de elementos em diferentes posições. Isto pode ser conseguido através dos seguintes meios:

- Aumentar a pressão de alimentação entre os estágios: preferido para uso eficiente de energia.
- Aplicar uma contrapressão no permeado somente para o primeiro estágio para um sistema de dois estágios: sistema alternativo de baixo custo.
- Sistema híbrido: uso de membranas com baixa permeabilidade a água nos primeiros estágios e membranas com alta permeabilidade a água nos últimos estágios: por exemplo, para um sistema de dessalinização da água do mar utilizar membranas de alta rejeição nos primeiros estágios e membranas de alta produtividade no segundo estágio.

A necessidade de equilibrar o fluxo do permeado e o método utilizado para isso pode ser determinado depois que o projeto for analisado com um software.

Os projetos dos equipamentos podem ser simulados através de ferramentas computacionais. Devem ser elaborados utilizando os softwares dos fabricantes de membranas, como por exemplo: ROSA 9, ROPRO 8.05, Winflows 3.1.1, etc. Estes programas computacionais calculam a pressão de alimentação e a qualidade do permeado do sistema, bem como os dados de operação de todos os elementos de membranas individuais. Então se torna fácil aperfeiçoar o projeto alterando a quantidade e o tipo de elementos de membrana e seu arranjo.

### 3.11 Parâmetros de qualidade da água para projeto de um sistema de dessalinização por Osmose Inversa para fornecimento de água para consumo humano.

A qualidade é um aspecto da água que assegura determinado uso ou conjunto de usos e é representada por características intrínsecas, geralmente mensuráveis, de natureza física, química e biológica. Essas características, se mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinado uso. Esses limites constituem critérios (recomendações) ou padrões (regras legais) da qualidade da água (Derisio, 2012).

Os padrões de classificação mais usados pretendem classificar a água de acordo com a sua potabilidade, a segurança que apresenta para o ser humano e para o bem estar dos ecossistemas. Assim, de acordo com a sua utilização, existe um conjunto de critérios e normas para a qualidade da água, que variam com a sua finalidade, seja ela consumo humano, uso industrial ou agrícola, lazer ou manutenção do equilíbrio ambiental. Sendo assim, a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinado tipo de uso também depende, fundamentalmente, da qualidade físico-química e bacteriológica da água (Freitas et al., 2013).

Em sistemas de dessalinização utilizando membranas de osmose inversa para produção de água para consumo humano, a qualidade da água de alimentação assume um papel muito importante no projeto dos equipamentos sendo fator determinante na seleção do tipo de membrana que será utilizada, na previsão de problemas devido à incrustação de sais e crescimento de filme biológico na superfície das membranas e na projeção da qualidade da água que será produzida.

No Brasil, o padrão de qualidade da água destinada ao consumo humano é definido pela Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011). Esta Portaria visa à proteção da saúde pública e o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde, como micro-organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou venenosas e elementos radioativos e se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa, coletiva ou individual de abastecimento de água. A portaria preconiza alguns parâmetros fundamentais que são dispostos com seus respectivos valores máximos permitidos (VMP) e que são determinados de forma rotineira em laboratórios de análises de água.

Todos os projetos de membranas filtrantes devem ser precedidos de uma análise completa da água de alimentação. Os principais parâmetros a serem analisados são os seguintes (Schneider & Tsutiya, 2001):

- Cátions:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Ba^{+2}$ ,  $Sr^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ;
- Ânions:  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $PO_4^{-3}$ ;

- Gases: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S;
- Poluentes orgânicos voláteis ou não, de baixo peso molecular: organoclorados, hidrocarbonetos, pesticidas;
- Colóides: SiO<sub>2</sub> (tot), Fe (tot);
- Um dos parâmetros de fouling: IDS, ISL, IFM;
- Temperatura;
- Condutividade elétrica;
- pH;
- Sólidos totais dissolvidos;
- Demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, carbono orgânico total, carbono orgânico solúvel;
- Turbidez;
- Alcalinidade: alcalinidade total, alcalinidade de carbonatos, dureza total;
- Bactérias;
- Oxidantes: cloro, ozônio ou outros componentes eventualmente presentes;
- Outros: cheiro, cor, etc.

Nos projetos elaborados para o desenvolvimento deste relatório serão considerados os parâmetros de maior relevância para o controle da qualidade da água para consumo humano e outros fundamentais para projetos de sistemas de dessalinização por osmose inversa para produção de água potável a partir de águas subterrâneas com alto teor de sais e impróprias para o consumo humano.

#### **4 ESTUDO DOS POTENCIAIS DE INCRUSTAÇÃO E DE DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE DESSALINIZAÇÃO PARA COMUNIDADES NO ESTADO DE ALAGOAS**

Antes de iniciar a segunda fase que, segundo a metodologia do Programa Água Doce, compreende a implantação ou recuperação dos sistemas de dessalinização nas comunidades selecionadas na primeira fase, se faz necessária a análise da composição físico-química das águas dos poços e a elaboração dos projetos dos dessalinizadores das comunidades selecionadas

Como foi visto anteriormente, o projeto e a instalação de um equipamento de dessalinização com membranas deve ser precedido de uma análise sobre o objetivo (consumo humano) e a qualidade da água que se deseja produzir (água potável), avaliação detalhada da qualidade da água da fonte hídrica (água subterrânea) e de seu fornecimento ao longo do tempo (vazão do poço). Os projetos dos dessalinizadores utilizando tecnologia de membranas de osmose inversa são de fundamental importância para garantir a operação e a viabilidade econômica dos sistemas que serão implantados nas comunidades.

O objetivo da avaliação da qualidade da água da fonte hídrica além de classificá-la quanto ao objetivo de sua utilização é também, verificar a tendência para formação de incrustações na superfície das membranas e propor ações de prevenção, tais como a necessidade de um pré-tratamento da água de alimentação do sistema ou a detecção da necessidade de limpeza química das membranas através do monitoramento das variáveis do sistema de dessalinização na terceira fase de execução.

Os projetos e os cálculos dos potenciais de incrustação deste estudo foram simulados, através do Software Rosa 9.1 da Dow Chemical, seguindo as etapas descritas na seção 3.10. Os dados necessários sobre a fonte de alimentação de cada dessalinizador foram obtidos através da coordenação estadual do PAD/AL localizado na SEMARH/AL.

A configuração de fluxo selecionada foi a “Plug Flow” sem recirculação do concentrado, que é padrão para sistemas de dessalinização implantados em comunidades difusas do semiárido brasileiro. Todos os dessalinizadores foram projetados para operação em batelada com tempo de operação determinado (h/dia) em função da demanda por água para fins primários (consumo humano) da

comunidade, considerando uma demanda de 40 L/dia.família e que a água de alimentação poderá ou não ser continuamente reposta no reservatório durante a operação do sistema. Não foram utilizados sistemas de passo duplo, por não serem aplicados para os casos estudados.

O tipo de membrana utilizada nos equipamentos instalados nas comunidades possui as seguintes especificações técnicas:

- Membranas de osmose inversa de alta rejeição, com taxa de rejeição mínima de 99,5%, pressão de trabalho 600 PSI, área nominal 85 ft, configuração espiral, polímero poliamida aromática de película fina TFC, cada elemento de membrana apresentando uma área de 78 ft<sup>2</sup>, GPD = 2400 com diâmetro de 4" comprimento de 40".

- Limites de operação:

Temperatura máxima de operação: 45 °C.

Pressão máxima de operação: 42 bar.

Fluxo máximo de alimentação: 3,6 m<sup>3</sup>/h.

SDI máximo (15 min): 5.

Faixa pH durante operação: 2 – 11.

Faixa de pH durante limpeza química: 1 – 13.

Máxima concentração de cloro livre: < 0,10 ppm

Turbidez máxima para operação: 1 NTU

Sendo assim, a membrana selecionada para elaboração dos projetos foi a BW 30 4040 da Filmtec por atender a todas as especificações técnicas descritas acima, e cuja ficha técnica encontra-se no Anexo 7.2.

Através da ficha técnica da membrana selecionada foi possível obter o fluxo de projeto ou fluxo médio do elemento de membrana que é de 31 L/m<sup>2</sup>.h. A partir desse valor e das vazões do permeado (m<sup>3</sup>/h) foi possível calcular, com auxílio das Equações 33 e 34, o número de elementos de membrana e de vasos de pressão para cada dessalinizador projetado. Todos os projetos foram elaborados para equipamentos com um arranjo de um estágio.

A etapa final consistiu nas simulações com auxílio do software para encontrar o melhor projeto com a melhor recuperação, equilíbrio do fluxo do permeado, obter as pressões de alimentação, estimar a qualidade do permeado do sistema, bem como, obter todos os dados de operação de todos os elementos de membranas individuais.

A interface do software apresenta seis janelas que serão descritas a seguir:

- 1) **“Project Information”**: Nessa janela são preenchidas informações sobre o projeto que será elaborado, tais como, nome, notas técnicas, autor do projeto, seleção do sal que será utilizado para realizar o balanço na composição iônica da alimentação e sistema de unidades adotado para as variáveis de projeto, conforme pode ser visto na Figura 18.

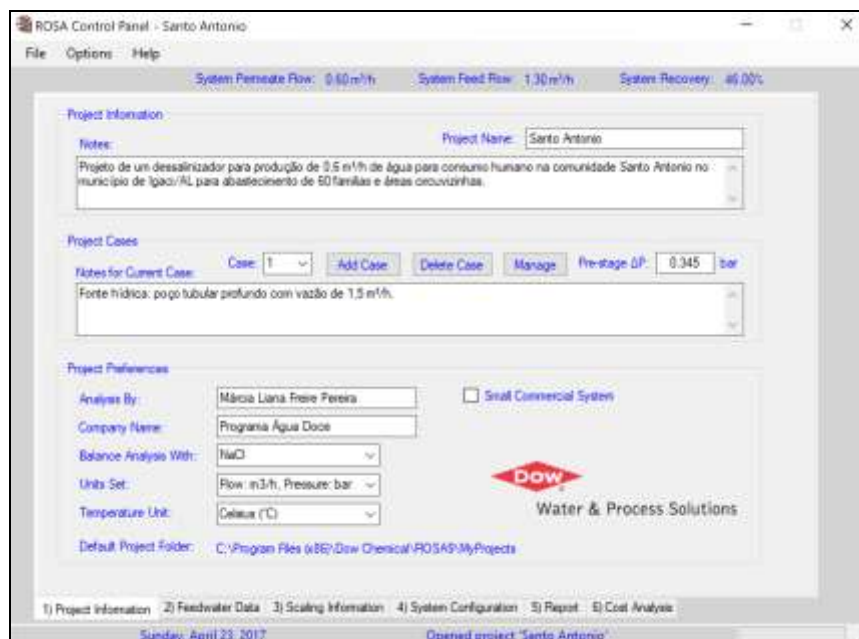
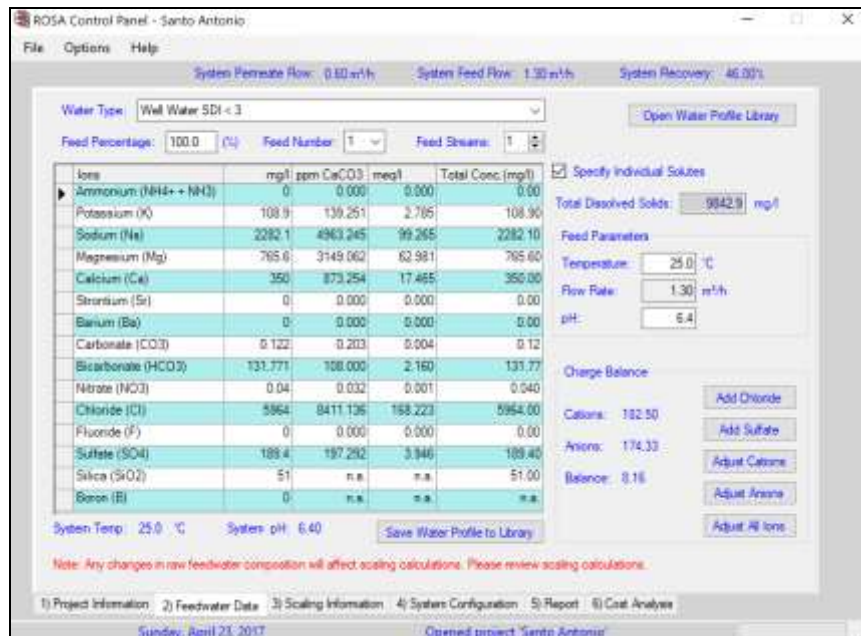


Figura 18. Janela “Project Information” da interface do Software ROSA 9.1 (Dow Chemical).

- 2) **“Feedwater Data”**: Nessa janela serão preenchidas informações sobre a alimentação do sistema, tais como, tipo ou fonte hídrica, quantidade de fontes de alimentação, percentual de cada fonte na alimentação, composição iônica, temperatura e pH. Ao preencher os íons individualmente, o software realiza um balanço adicionando o cátion ou anion do sal que foi selecionado na janela anterior para que a carga

iônica de cátions e ânions presentes em solução seja igual. O software possui a opção de se trabalhar no projeto utilizando somente o TDS em mg/L da alimentação, conforme podem ser visualizados nas Figuras 19 e 20.



**Figura 19. Janela “Feedwater Data” da interface do Software ROSA 9.1 (Dow Chemical), com balanço iônico para a concentração dos íons individuais apresentados na análise da água do poço da comunidade Santo Antonio no município de Igaci/AL.**

- 3) **“Scaling Information”**: Nessa janela são apresentados os potenciais de incrustação calculados pelo software a partir das concentrações dos íons individuais preenchidos na janela anterior. Caso haja necessidade de realizar um pré-tratamento com inibidores de incrustação, um aviso é emitido com base nesses resultados, sendo possível fazer a escolha de um pré-tratamento adequado para água de alimentação do sistema, conforme mostra a Figura 21. Ainda nessa janela pode-se fazer ajustes no pH da água de alimentação em caso de águas ácidas (pH abaixo de 7,0) ou alcalinas (pH acima de 7,0) para diminuir os riscos de incrustações de sais na superfície das membranas. O software fornece três opções com dosagem de HCl e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para as águas alcalinas e de NaOH para águas ácidas. No caso das águas dos poços das comunidades selecionadas para realização deste trabalho, não houve



necessidade de ajustes de pH.

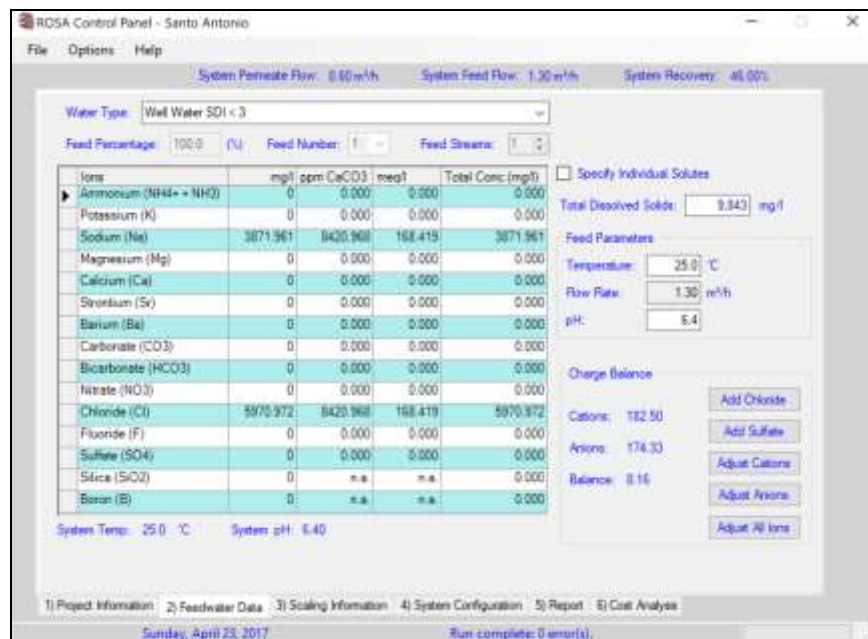


Figura 20. Janela “Feedwater Data” da interface do Software ROSA 9.1 (Dow Chemical), preenchida com a concentração de TDS em mg/L apresentado na análise da água do poço da comunidade Santo Antonio no município de Igaci/AL.

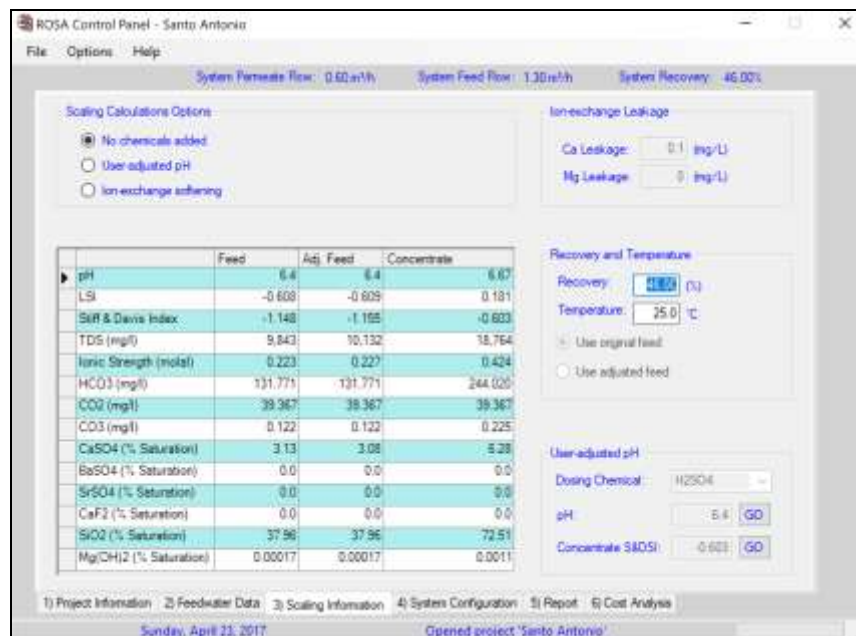


Figura 21. Janela “Scaling Information” da interface do Software ROSA 9.1 (Dow Chemical), com índices de incrustações apresentados para a água do poço da comunidade Santo Antonio no município de Igaci/AL.

- 4) **“System Configuration”**: Nessa janela são escolhidas as configurações do sistema, tais como, números de passos, números de estágios, número de vasos de pressão, números de elementos de membranas, tipo de membrana, vazão do permeado (produção do sistema) e recuperação, conforme pode ser visto na Figura 22.
- 5) **“Report”**: Nesta janela da interface são gerados dois relatórios. O primeiro relatório (System Design Overview) mostra a configuração planejada e todos os dados de projeto do dessalinizador, conforme pode ser visto na Figura 23. O segundo relatório (Detailed Report) apresenta os calculos de incrustação e composições da alimentação, permeado e concentrado, conforme pode ser visto na Figura 24.
- 6) **“Cost Analysis”**: A ultima janela da interface do software é usada para se fazer uma análise de custos do projeto elaborado, conforme pode ser observado através da Figura 25. Porém este não foi um tema desenvolvido neste relatório.

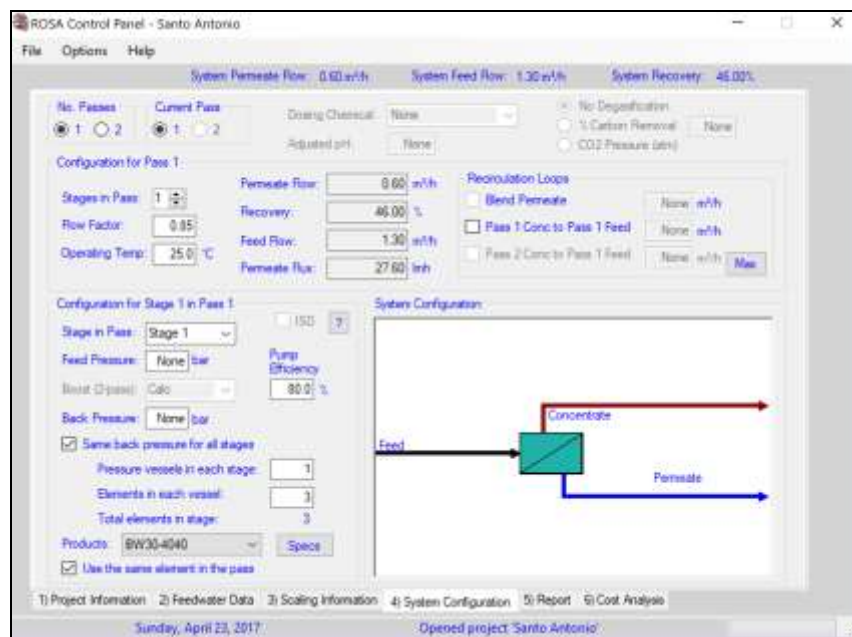


Figura 22. Janela “System Configuration” da interface do Software ROSA 9.1 (Dow Chemical).

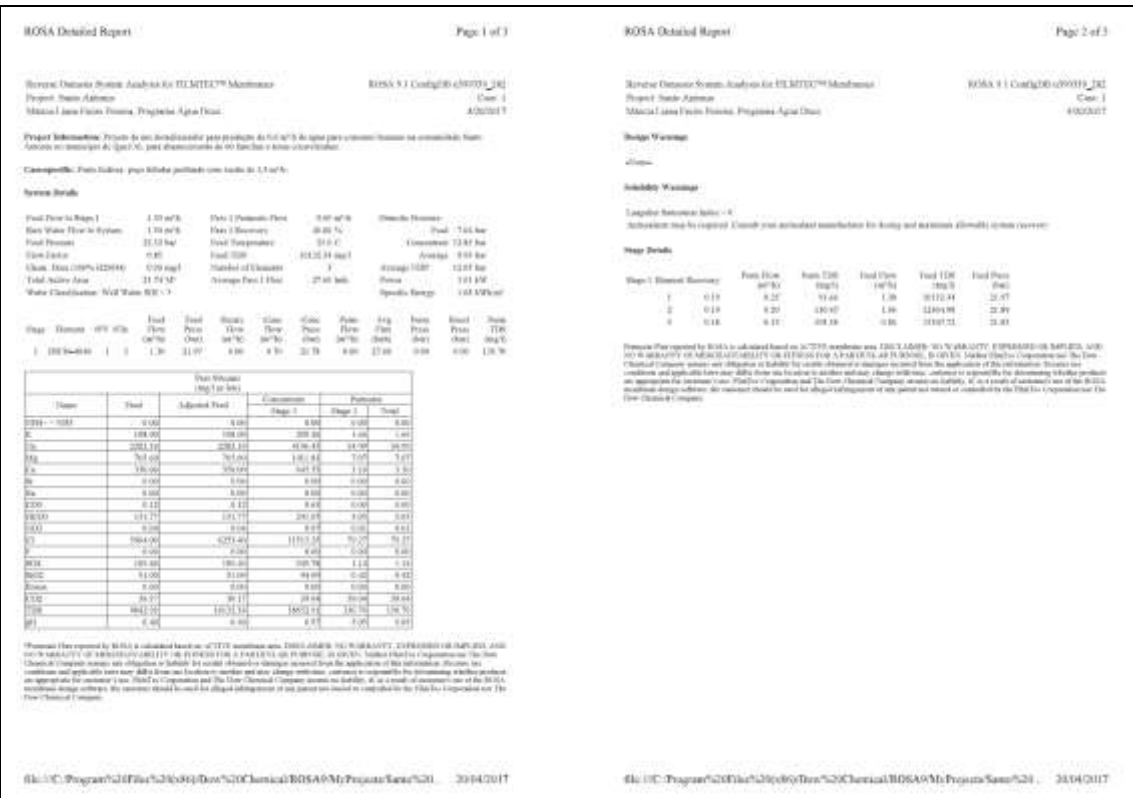
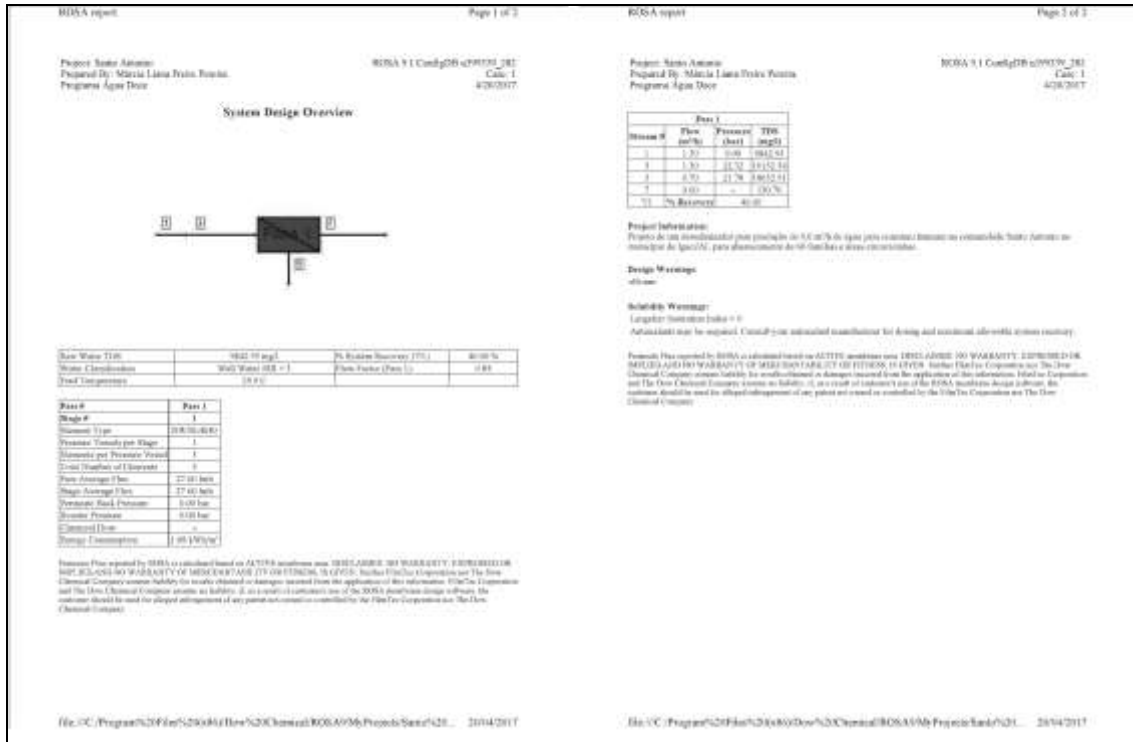


Figura 24. Relatório "Detailed Report" gerado pelo Software ROSA 9.1 (Dow Chemical).

|    | A                                     | B             |
|----|---------------------------------------|---------------|
| 1  | <b>Project Identification</b>         |               |
| 2  | Project Name                          | Santo Antonio |
| 3  | Case #                                | 1             |
| 4  | <b>Project Overview</b>               |               |
| 5  | Unit set for economic evaluation      | gpm-psi-gpm   |
| 6  | System water production (gpm)         | 2.54          |
| 7  | System recovery (%)                   | 40.00         |
| 8  | <b>Project Economic Variables</b>     |               |
| 9  | Project Life (years)                  | 10            |
| 10 | Interest rate (%)                     | 10            |
| 11 | Power cost (\$/kWh)                   | 0.08          |
| 12 | <b>Pass 1</b>                         |               |
| 13 | <b>Projection Results</b>             |               |
| 14 | Pass 1 permeate production (gpm)      | 2.54          |
| 15 | Pass 1 feed pressure (psi)            | 5.00          |
| 16 | Pass 1 concentrate pressure (psi)     | 0.00          |
| 17 | Pass 1 recovery (%)                   | 46.00         |
| 18 | Pass 1 energy recovery efficiency (%) |               |
| 19 | <b>Capital Expense</b>                |               |
| 20 | Pass 1 pressure vessels               | 1             |
| 21 | Pressure vessel cost (\$/vessel)      | 0             |

**Figura 25. Janela “Cost Analysis” da interface do Software ROSA 9.1 (Dow Chemical).**

As visitas técnicas foram realizadas nas comunidades dos municípios de Estrela de Alagoas, Igaci, Minador do Negrão, Major Isidoro, Dois Riachos, Santana do Ipanema, Poço das Trincheiras, Senador Rui Palmeira, São José da Tapera, Batalha e Traipú.

Todos os equipamentos foram fabricados pela empresa ACQUA PURA seguindo a linha adotada por esta empresa de não utilizar o pressostato como sistema de proteção para bomba de alta pressão, e sim, o uso de bóias elétricas de nível no reservatório de alimentação, para desligar a bomba auxiliar no caso de falta de alimentação. Outra característica, também se reflete no uso da bomba auxiliar como bomba de retrolavagem das membranas. Para isso, foram utilizados registros de esfera, em PVC, para controle dos fluxos de alimentação e do permeado armazenado no reservatório para realizar o procedimento de limpeza das membranas ao final da operação.

Os equipamentos são compostos basicamente por:

- 01 Estrutura (skid) metálica em aço carbono com pintura anticorrosiva;

- Vasos de fibra de vidro, com capacidade para 03 membranas de 4" de diâmetro e 40" de comprimento;
- Membranas de 4" de diâmetro e 40" de comprimento;
- 01 Bomba Booster modelo 3.2-B, de 20 ou 25 estágios, potência de 3,0 ou 2,0 CV, Monofásica, 220 V, fabricação DANCOR;
- 01 Bomba DANCOR, modelo CP-4C INX, de 1/2 CV, monofásica, 220 V, corpo ferro fundido;
- 01 Bomba dosadora INJETRONIC, modelo V-6,0 P 4,0, pressão máxima 4 BAR, vazão máxima de 6,0 L/h.;
- Filtros de cartucho 5 micra, tamanho 9.3/4", com carcaças;
- 02 Rotâmetros em acrílico com êmbolos e haste em aço inox, escala de 0 – 35 LPM;
- 02 Manômetros de painel, visor glicerinado, escala de 0 – 5 BAR (0 – 70 PSI);
- 02 Manômetros de painel, visor glicerinado, escala de 0 – 35 BAR (0 – 500 PSI);
- 01 Quadro de comando elétrico;
- Tubulações de alta pressão em PPR;
- Tubulações de baixa pressão em PVC soldável e mangueiras;
- Registro de esfera para regulagem da pressão da bomba booster;
- Registro de esfera para regulagem da vazão do concentrado;
- Registros de esfera, em PVC, para controle do by-pass do sistema de retrolavagem;

- 01 Torneira para coleta de água na saída do permeado.

Nos sistemas de dessalinização visitados foram coletados dados de operação, verificadas não conformidades com a metodologia do PAD e realizadas recomendações de ações corretivas e preventivas para assegurar que o programa em execução no Estado de Alagoas atenda aos critérios técnicos estabelecidos no Documento Base e de Orientações Técnicas dos Componentes do PAD.

#### 4.1 Município de Estrela de Alagoas

##### 4.1.1 Comunidade Lagoa dos Porcos.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.500 L/h e fornece água dessalinizada para atender 120 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12. Coordenadas Geográficas do sistema de dessalinização da comunidade Lagoa dos Porcos.

| <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|-----------------|------------------|
| S 09° 22' 13,2" | W 36° 44' 10,5"  |

A análise da água do poço da comunidade apresentou valores para sólidos totais dissolvidos, dureza e concentração de cloretos acima do valor máximo permissível segundo a portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde, conforme pode ser visualizado no Anexo 7.4 através do laudo apresentado pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA).

Não foi possível calcular os potenciais de incrustação para a água do poço, pois a análise apresentada pelo IMA não possui determinação de parâmetros fundamentais para o estudo proposto, tais como, sílica, alcalinidade e concentrações dos cátions cálcio, bário e estrôncio.

A determinação do Índice de Saturação de Langelier, por exemplo, indica o potencial de incrustações por Carbonato de Cálcio que é o tipo de incrustação mais recorrente em equipamentos de dessalinização alimentados pelas águas subterrâneas do semiárido nordestino. Porém, sem os parâmetros alcalinidade e

concentração de íons cálcio não é possível indicar se a água do poço possui tendência a esse tipo de incrustação.

A ausência da determinação dos cátions presentes na água do poço, além de dificultar a previsão de possíveis incrustações conduz a falhas no pré tratamento da água de alimentação do sistema de dessalinização, pois não será possível dimensionar o equipamento considerando a composição dos íons presentes na água do poço.

Foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica realizada na comunidade, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 13 e na íntegra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, por ausência da determinação de cátions na água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, o teor de sólidos totais dissolvidos presentes na água de alimentação que apresentou um valor de 4.348 mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 4.800 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 13. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Lagoa dos Porcos.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m³) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 3                   | 1.330                      | 600                     | 730                        | 8                         | 70,77               | 7.847,56               | 45              | 1,14                        |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 26) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 28% e uma produção de 660 L/h de permeado (água dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 70 mg/L (concentração de sais).

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- P1 = manômetro com defeito (manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- P2 = 1,7 Bar (manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- P3 = 14,5 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- P4 = 13,5 Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).
- $\Delta P_{34} = P3 - P4 = 14,5 - 13,5 = 1$  Bar (o monitoramento da variação da pressão nos vasos permeadores é muito importante para verificar os indicativos de manutenções preventivas nas membranas).
- Q1 = 11 LPM = 660 L/h (rotâmetro de registro da vazão do permeado)
- Q2 = 28 LPM = 1.680 L/h (rotâmetro de registro da vazão do concentrado)
- $R = 11/(11 + 28) \times 100 = 28$  % (taxa de recuperação do equipamento)
- Regulagem da bomba dosadora da solução antincrustante: 40 %
- Vazão de injeção da solução antincrustante = 2,4 L/h
- Antincrustante utilizado: FLOCON 135

A variação da pressão ( $\Delta P_{12} = P1 - P2$ ) no conjunto de filtros de cartuchos é muito importante para verificar o momento certo para troca, porém, não foi possível determinar a pressão de entrada do conjunto de filtros de cartucho, pois o manômetro P1 não estava registrando a pressão.





**Figura 26. Equipamento de dessalinização da comunidade Lagoa dos Porcos.**

## 4.2 Município de Batalha.

### 4.2.1 Comunidade Pau Ferro.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 2.880 L/h e fornece água dessalinizada para atender 50 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Coordenadas geográficas do sistema de dessalinização da comunidade Pau Ferro.

| <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|-----------------|------------------|
| S 09° 42' 27,2" | W 37° 04' 03,6"  |

A análise da água do poço da comunidade apresentou valores para sólidos totais dissolvidos e turbidez acima do valor máximo permissível segundo a portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde, conforme pode ser visualizado no Anexo 7.4 através do laudo apresentado pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA).

Não foi possível calcular os potenciais de incrustação para a água do poço, pois a análise apresentada pelo IMA não possui determinação de parâmetros fundamentais para o estudo proposto, tais como, sílica, alcalinidade e concentrações dos cátions cálcio, bário e estrôncio.

Foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica realizada na comunidade, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 15 e na íntegra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, por ausência da determinação de cátions na água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, o teor de sólidos totais dissolvidos presentes na água de alimentação que apresentou um valor de 1.270 mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 2.000 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 15. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Pau Ferro.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m³) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 3                   | 1.430                      | 600                     | 830                        | 3                         | 13,63               | 2.179,83               | 42              | 0,84                        |

O resultado obtido para a concentração de sais do permeado (TDS = 13,63 mg/L) não foi satisfatório sendo necessário realizar a adição de sais para que a qualidade do permeado se enquadre nas necessidades nutricionais para consumo humano (TDS > 70 mg/L). Esse resultado é devido à concentração de sais da água de alimentação (1.270 mg/L) está próxima do padrão de potabilidade (1000 mg/L).

Nesse caso podemos considerar a utilização de membranas de osmose inversa de baixa rejeição e baixo consumo de energia (ex: XLE 4040 da Filmtec) para melhorar a qualidade do permeado. A Tabela 16 apresenta os resultados

obtidos para uma simulação de um equipamento com três membranas em série e uma produção de 600 L/h utilizando membranas XLE 4040 da Filmtec.

Tabela 16. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Pau Ferro, utilizando membranas do tipo XLE da Filmtec.

| TIPO DE MEMBRANA | NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--|
| XLE 4040         | 3                   | 1.360                      | 600                     | 760                        | 3                         | 56,59               | 2.223,41               | 44              | 0,44                                     |

Os resultados obtidos mostram que a membrana do tipo XLE apresentou um melhor desempenho em termos de qualidade do permeado e consumo de energia.

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 27) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 56 % e uma produção de 1.140 L/h de permeado (água dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 120 mg/L (concentração de sais).

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- P1 = 1,6 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- P2 = 1,6 Bar (manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- P3 = 15,2 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- P4 = 15,2 Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).
- Q1 = 19 LPM = 1.140 L/h (rotâmetro de registro da vazão do permeado)

- $Q2 = 15 \text{ LPM} = 900 \text{ L/h}$  (rotâmetro de registro da vazão do concentrado)
- $R = 19/(19 + 15) \times 100 = 56 \%$  (taxa de recuperação do equipamento)
- Regulagem da bomba dosadora da solução antincrustante: 40 %
- Vazão de injeção da solução antincrustante = 2,4 L/h
- Antincrustante utilizado: FLOCON 135



**Figura 27. Equipamento de dessalinização da comunidade Pau Ferro.**

A variação da pressão ( $\Delta P_{12} = P_1 - P_2$ ) no conjunto de filtros de cartuchos é muito importante para verificar o momento certo para troca dos filtros, porém, não foi possível determinar  $\Delta P_{12}$ , pois os manômetros estão registrando a mesma pressão, provavelmente um dos dois está defeituoso.

Da mesma forma, a variação da pressão ( $\Delta P_{34} = P_3 - P_4$ ) nos vasos permeadores é muito importante para verificar o momento certo de realizar manutenções preventivas nas membranas, porém, não foi possível determinar  $\Delta P_{34}$ , pois os manômetros estão registrando a mesma pressão, provavelmente um dos dois está defeituoso.

#### 4.2.2 Comunidade dos Valérios.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 3.000 L/h e fornece água dessalinizada para atender 30 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas no Tabela 17.

Tabela 17. Coordenadas Geográficas do sistema da Comunidade dos Valérios.

| <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|-----------------|------------------|
| S 09° 37' 04,6" | W 37° 09' 00,4"  |

A análise da água do poço da comunidade apresentou valores para sólidos totais dissolvidos, dureza e concentração de cloretos acima do valor máximo permissível segundo a portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde, conforme pode ser visualizado no Anexo 7.4 através do laudo apresentado pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA).

Não foi possível calcular os potenciais de incrustação para a água do poço, pois a análise apresentada pelo IMA não possui determinação de parâmetros fundamentais para o estudo proposto, tais como, sílica, alcalinidade e concentrações dos cátions cálcio, bário e estrôncio.

Foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica realizada na comunidade dos Valérios, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 18 e na íntegra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, por ausência da determinação de cátions na água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, o teor de sólidos totais dissolvidos presentes na água de alimentação que apresentou um valor de 4.857 mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 1.200 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 18. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade dos Valérios.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--|
| 3                   | 1.330                      | 600                     | 730                        | 2                         | 67,57               | 8.775,63               | 45              | 1,21                                     |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 28) foi recuperado há dois anos, mas nunca funcionou por causa de problemas com o fornecimento de energia elétrica.



**Figura 28. Equipamento de dessalinização da comunidade dos Valérios.**

#### 4.3 Município de Poço das Trincheiras.

##### 4.3.1 Comunidade Manuê.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.300 L/h e fornece água dessalinizada para atender 30 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19. Coordenadas geográficas do sistema de dessalinização da comunidade Manuê.

| Latitude        | Longitude       |
|-----------------|-----------------|
| S 09° 15' 02,8" | W 37° 12' 53,7" |

A análise da água do poço não foi encontrada nos arquivos da coordenação estadual de Alagoas impossibilitando a realização dos cálculos dos potenciais de incrustação. Sendo assim, foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica realizada na comunidade, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 20 e na integra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, em função da ausência de análises laboratoriais para estudo da qualidade da água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, a concentração de sais determinada com auxílio de um condutivímetro portátil que faz a leitura dos sólidos totais dissolvidos e que apresentou no dia da visita técnica um valor de 2.830 ppm ou mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 1.200 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 20. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Manuê.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m³) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 3                   | 1.400                      | 600                     | 800                        | 2                         | 38,87               | 4.935,60               | 43              | 1,01                        |

O resultado obtido para a concentração de sais do permeado (TDS = 38,87 mg/L) não foi satisfatório sendo necessário realizar a adição de sais para que a qualidade do permeado se enquadre nas necessidades nutricionais para consumo humano (TDS > 70 mg/L).

Nesse caso podemos considerar a utilização de membranas de osmose inversa de baixa rejeição e baixo consumo de energia (ex: XLE 4040 da Filmtec) para melhorar a qualidade do permeado. A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos para uma simulação de um equipamento com três membranas em série e uma produção de 600 L/h utilizando membranas XLE 4040 da Filmtec.

Os resultados mostraram que a membrana do tipo XLE apresentou um melhor desempenho em termos de qualidade do permeado e consumo de energia.

Tabela 21. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Manuê, utilizando membranas do tipo XLE da Filmtec.

| TIPO DE MEMBRANA | NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m³) |
|------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| XLE 4040         | 3                   | 1.400                      | 600                     | 800                        | 2                         | 135,34              | 4.862,81               | 43              | 0,61                        |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 29) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 26 % e uma produção de 750 L/h de permeado (água dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 80 mg/L (concentração de sais).

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- P1 = 1,6 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- P2 = 1,6 Bar (manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- P3 = 12,5 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- P4 = 11 Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).



- $\Delta P_{34} = P_3 - P_4 = 1,5 \text{ BAR}$  (A variação da pressão nos vasos permeadores é muito importante para verificar o momento certo de realizar manutenções preventivas nas membranas).
- $Q_1 = 12,5 \text{ LPM} = 750 \text{ L/h}$  (rotâmetro de registro da vazão do permeado)
- $Q_2 = 35 \text{ LPM} = 2.100 \text{ L/h}$  (rotâmetro de registro da vazão do concentrado)
- $R = 12,5/(12,5 + 35) \times 100 = 26\%$  (taxa de recuperação do equipamento)
- Regulagem da bomba dosadora da solução antincrustante: 40 %
- Vazão de injeção da solução antincrustante = 2,4 L/h
- Antincrustante utilizado: FLOCON 135

A variação da pressão ( $\Delta P_{12} = P_1 - P_2$ ) no conjunto de filtros de cartuchos é muito importante para verificar o momento certo para troca dos filtros, porém, não foi possível determinar  $\Delta P_{12}$ , pois os manômetros estão registrando a mesma pressão, provavelmente um dos dois está defeituoso.



**Figura 29. Equipamento de dessalinização da comunidade Manuê.**

#### 4.3.2 Comunidade Gravatazinho.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.900 L/h e fornece água dessalinizada para atender 40 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas no Tabela 22.

Tabela 22. Coordenadas Geográficas do sistema da Comunidade Gravatazinho.

| Latitude        | Longitude       |
|-----------------|-----------------|
| S 09° 15' 28,3" | W 37° 11' 57,9" |

A análise da água do poço da comunidade apresentou valores para sólidos totais dissolvidos, dureza, concentração de cloretos e ferro total acima do valor máximo permissível segundo a portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde, conforme pode ser visualizado no Anexo 7.4 através do laudo apresentado pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA).

Não foi possível calcular os potenciais de incrustação para a água do poço, pois a análise apresentada pelo IMA não possui determinação de parâmetros fundamentais para o estudo proposto, tais como, sílica, alcalinidade e concentrações dos cátions cálcio, bário e estrôncio.

A água do poço apresentou uma concentração de ferro total no valor de 1,44 mg/L. O pré-tratamento para evitar a precipitação de compostos de ferro na superfície das membranas em sistemas de OI é recomendado quando a água de alimentação contém teores de ferro acima de 0,1 mg/L.

O ferro está presente na forma insolúvel  $Fe^{3+}$ , numa grande quantidade de tipos de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido (ex: água subterrânea), ele se apresenta na forma solúvel  $Fe^{2+}$ . Caso a água contendo a forma reduzida seja exposta ao ar atmosférico (ex: no reservatório da água do poço), o ferro volta a sua forma insolúvel ( $Fe^{3+}$ ), o que pode causar cor na água. Em certas concentrações, podem causar sabor e odor (mas, nessas concentrações, ocorre a rejeição do consumidor, devido à cor). A água subterrânea é mais propensa a apresentar teores elevados de ferro (Von Sperling, 1995; CETESB, 1987).

A deposição de precipitados de ferro nas membranas de OI é muito comum. Como qualquer “fouling”, diminui o desempenho do sistema operacional, especificamente, a redução do fluxo do permeado. Além disso, a presença de ferro na água de alimentação do sistema torna as membranas mais suscetíveis aos danos causados por oxidação. Uma forma de evitar os inconvenientes da precipitação de sais deste elemento químico é usar substâncias complexantes (agentes quelantes) a base de fosfato (ex: Ortopolifosfato de Sódio) para eliminar precipitados ferrosos coloidais. Esses complexantes encapsulam as moléculas dos sais de ferro, formando compostos estáveis, não oxidáveis. O inconveniente deste processo é que ele não elimina o ferro presente na água, e ainda adiciona fosfatos à mesma. O uso de polifosfatos cria condições para o desenvolvimento de incrustações por ferro-bactéria que precisam se combatidas com manutenções através de limpezas químicas das membranas. Outra forma de evitar a deposição de ferro na superfície das membranas é a utilização de inibidores a base de Ácido Carboxílico específicos para controle de incrustações por ferro (ex: Flocon 260). A ficha técnica do referido produto encontra-se no Anexo 7.3.

Foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica a comunidade Gravatazinho, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 23 e na integra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, por ausência da determinação de cátions na água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, o teor de sólidos totais dissolvidos presentes na água de alimentação que apresentou um valor de 4.644 mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 1.600 L/dia de água dessalinizada.

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 30) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 15% e uma produção de 360 L/h de permeado (água dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 110 mg/L (concentração de sais).

Tabela 23. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Gravatazinho.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--|
| 3                   | 1.330                      | 600                     | 730                        | 3                         | 68,87               | 8.387,30               | 45              | 1,18                                     |

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- P1 = manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento com defeito.
- P2 = manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento com defeito.
- P3 = 11 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- P4 = 9 Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).
- $\Delta P_{34} = P3 - P4 = 11 - 9 = 2$  Bar (o monitoramento da variação da pressão nos vasos permeadores é muito importante para verificar os indicativos de manutenções preventivas nas membranas).
- Q1 = 6 LPM = 360 L/h (rotâmetro de registro da vazão do permeado)
- Q2 = 35 LPM = 2.100 L/h (rotâmetro de registro da vazão do concentrado)
- $R = 6 / (6 + 35) \times 100 = 15$  % (taxa de recuperação do equipamento)
- Regulagem da bomba dosadora da solução antincrustante: 40 %
- Vazão de injeção da solução antincrustante = 2,4 L/h

- Antincrustante utilizado: FLOCON 135

A variação da pressão ( $\Delta P_{12} = P_1 - P_2$ ) no conjunto de filtros de cartuchos é muito importante para verificar o momento certo para troca, porém, não foi possível determinar as pressões de entrada e saída do conjunto de filtros de cartucho, pois os manômetros não estavam registrando pressão.



**Figura 30. Equipamento de dessalinização da comunidade Gravatzinho.**

#### 4.3.3 Comunidade Várzea de Dona Joana.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.800 L/h e fornece água dessalinizada para atender 300 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24. Coordenadas Geográficas do sistema da Comunidade Várzea de Dona Joana.

| Latitude        | Longitude       |
|-----------------|-----------------|
| S 09° 20' 18,3" | W 37° 29' 02,8" |

A análise da água do poço da comunidade apresentou valores para sólidos totais dissolvidos, dureza, concentração de cloretos e ferro total acima do valor máximo permissível segundo a portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da

Saúde, conforme pode ser visualizado no Anexo 7.4 através do laudo apresentado pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA).

Não foi possível calcular os potenciais de incrustação para a água do poço, pois a análise apresentada pelo IMA não possui determinação de parâmetros fundamentais para o estudo proposto, tais como, sílica, alcalinidade e concentrações dos cátions cálcio, bário e estrôncio.

A água do poço apresentou uma concentração de ferro total no valor de 0,87 mg/L. O pré-tratamento para evitar a precipitação de compostos de ferro na superfície das membranas em sistemas de OI é recomendado quando a água de alimentação contem teores de ferro acima de 0,1 mg/L.

Foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 1.200 L/h, considerando a utilização de seis membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica a comunidade, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 25 e na integra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, por ausência da determinação de cátions na água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, o teor de sólidos totais dissolvidos presentes na água de alimentação que apresentou um valor de 4.750 mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 12.000 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 25. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Várzea de Dona Joana.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m³) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 6                   | 2.670                      | 1.200                   | 1.470                      | 10                        | 69,92               | 8.579,15               | 45              | 1,19                        |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 31) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 52% e uma produção de 1.440 L/h de permeado (água

dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 200 mg/L (concentração de sais).

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- $P1 = 1,9$  Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- $P2 = 1,7$  Bar (manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- $\Delta P_{12} = P1 - P2 = 0,2$  Bar (a variação da pressão no conjunto de filtros é muito importante para verificar o momento certo de trocar os filtros).
- $P3 = 17$  Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- $P4 = 16$  Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).
- $\Delta P_{34} = P3 - P4 = 1,0$  Bar (a variação da pressão nos vasos permeadores é muito importante para verificar o momento certo de realizar manutenções preventivas nas membranas).
- $Q1 = 24$  LPM = 1.440 L/h (rotâmetro de registro da vazão do permeado).
- $Q2 = 22$  LPM = 1.320 L/h (rotâmetro de registro da vazão do concentrado).
- $R = 24/(24 + 22) \times 100 = 52$  % (taxa de recuperação do equipamento).
- Regulagem da Bomba Dosadora da Solução antincrustante: 65 %.
- Vazão de Injeção da Solução antincrustante = 3,9 L/h.
- Antincrustante utilizado: FLOCON 135.



**Figura 31. Equipamento de dessalinização da comunidade Várzea de Dona Joana.**

#### 4.4 Município de Santana do Ipanema.

##### 4.4.1 Comunidade Gravatá.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.714 L/h e fornece água dessalinizada para atender 30 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26. Coordenadas Geográficas do sistema da Comunidade Gravatá.

| <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|-----------------|------------------|
| S 09° 21' 38,6" | W 37° 11' 18,2"  |

A análise da água do poço não foi encontrada nos arquivos da coordenação estadual de Alagoas impossibilitando a realização dos cálculos dos potenciais de incrustação. Sendo assim, foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica realizada na



comunidade, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 27 e na integra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, em função da ausência de análises laboratoriais para estudo da qualidade da água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, a concentração de sais determinada com auxílio de um condutivímetro portátil que faz a leitura dos sólidos totais dissolvidos e que apresentou no dia da visita técnica um valor de 2.720 ppm ou mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 1.200 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 27. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Gravatá.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m³) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 3                   | 1.400                      | 600                     | 800                        | 2                         | 37,12               | 4.743,93               | 43              | 0,99                        |

O resultado obtido para a concentração de sais do permeado (TDS = 37,12 mg/L) não foi satisfatório sendo necessário realizar a adição de sais para que a qualidade do permeado se enquadre nas necessidades nutricionais para consumo humano (TDS > 70 mg/L).

Nesse caso podemos considerar a utilização de membranas de osmose inversa de baixa rejeição e baixo consumo de energia (ex: XLE 4040 da Filmtec) para melhorar a qualidade do permeado. A Tabela 28 apresenta os resultados obtidos para uma simulação de um equipamento com três membranas e uma produção de 600 L/h utilizando membranas XLE 4040 da Filmtec.

Os resultados mostraram que a membrana do tipo XLE apresentou um melhor desempenho em termos de qualidade do permeado e consumo de energia.

Tabela 28. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Gravatá, utilizando membranas do tipo XLE da Filmtec.

| TIPO DE MEMBRANA | NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--|
| XLE 4040         | 3                   | 1.400                      | 600                     | 800                        | 2                         | 129,85              | 4.673,98               | 43              | 0,60                                     |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 32) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 31 % e uma produção de 750 L/h de permeado (água dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 80 mg/L (concentração de sais).

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- P1 = 1,8 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- P2 = 1,7 Bar (manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- $\Delta P_{12} = P1 - P2 = 0,1$  Bar (a variação da pressão no conjunto de filtros é muito importante para verificar o momento certo de trocar os filtros).
- P3 = 14,5 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- P4 = 14 Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).
- $\Delta P_{34} = P3 - P4 = 0,5$  Bar (a variação da pressão nos vasos permeadores é muito importante para verificar o momento certo de realizar manutenções preventivas nas membranas).
- Q1 = 12,5 LPM = 750 L/h (rotâmetro de registro da vazão do permeado).

- $Q_2 = 28 \text{ LPM} = 1.680 \text{ L/h}$  (rotâmetro de registro da vazão do concentrado)
- $R = 12,5/(12,5 + 28) \times 100 = 31 \%$  (taxa de recuperação do equipamento)
- Regulagem da bomba dosadora da solução antincrustante: 40 %
- Vazão de injeção da solução antincrustante = 2,4 L/h
- Antincrustante utilizado: FLOCON 135



**Figura 32. Equipamento de dessalinização da comunidade Gravatá.**

#### 4.4.2 Comunidade Grotão.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.700 L/h e fornece água dessalinizada para atender 100 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29. Coordenadas Geográficas do sistema da Comunidade Grotão.

| <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|-----------------|------------------|
| S 09° 19' 04,3" | W 37° 09' 26,8"  |

A análise da água do poço não foi encontrada nos arquivos da coordenação estadual de Alagoas impossibilitando a realização dos cálculos dos potenciais de incrustação. Sendo assim, foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 1.200 L/h, considerando a utilização de seis membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica realizada na comunidade, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 30 e na integra no Anexo 7.5.

Conforme mencionado anteriormente, em função da ausência de análises laboratoriais para estudo da qualidade da água do poço, somente foi considerado para dimensionamento do equipamento, a concentração de sais determinada com auxílio de um condutivímetro portátil que faz a leitura dos sólidos totais dissolvidos e que apresentou no dia da visita técnica um valor de 3.580 ppm ou mg/L.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 4.000 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 30. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Grotão.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--|
| 6                   | 2.730                      | 1.200                   | 1.530                      | 3                         | 51,27               | 6.352,51               | 44              | 1,08                                     |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 33) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 49 % e uma produção de 1.440 L/h de permeado (água dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 110 mg/L (concentração de sais).

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- P1 = 1,5 Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).

- $P2 = 1,4$  Bar (manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- $\Delta P12 = P1 - P2 = 0,1$  Bar (a variação da pressão no conjunto de filtros é muito importante para verificar o momento certo de trocar os filtros).
- $P3 = 15,5$  Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- $P4 = 15$  Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).
- $\Delta P34 = P3 - P4 = 0,5$  Bar (a variação da pressão nos vasos permeadores é muito importante para verificar o momento certo de realizar manutenções preventivas nas membranas).
- $Q1 = 24$  LPM = 1.440 L/h (rotâmetro de registro da vazão do permeado).
- $Q2 = 25$  LPM = 1.500 L/h (rotâmetro de registro da vazão do concentrado)
- $R = 24/(24 + 25) \times 100 = 49$  % (taxa de recuperação do equipamento)
- Regulagem da bomba dosadora da solução antincrustante: 40 %
- Vazão de injeção da solução antincrustante = 2,4 L/h
- Antincrustante utilizado: FLOCON 135



**Figura 33. Equipamento de dessalinização da comunidade Grotão.**

#### 4.5 Município de Igaci.

##### 4.5.1 Comunidade Calvário.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.800 L/h e fornece água dessalinizada para atender 50 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 31.

Tabela 31. Coordenadas Geográficas do sistema da Comunidade Calvário.

| <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|-----------------|------------------|
| S 09° 31' 53,5" | W 36° 49' 30,7"  |

A análise da água do poço da comunidade apresentou valores para sólidos totais dissolvidos, dureza, concentrações de sódio, ferro total e cloretos acima do valor máximo permissível segundo a portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde, conforme pode ser visualizado no Anexo 7.4 através do laudo emitido pela Companhia de Abastecimento D'água e Saneamento do Estado de Alagoas (CASAL).

Os cálculos dos potenciais de incrustação para a água do poço apresentaram tendência à precipitação de Carbonato de Cálcio ( $ISL > 0$ ) sendo indicado a implantação de pré-tratamento químico com adição de um inibidor de incrustação para evitar a deposição de  $CaCO_3$  na superfície das membranas. A água do poço não apresentou tendência a incrustações de Sulfato de Cálcio e Sílica, conforme projeto apresentado no Anexo 7.5.

A água do poço apresentou uma concentração de ferro total no valor de 0,37 mg/L. O pré-tratamento para evitar a precipitação de compostos de ferro na superfície das membranas em sistemas de OI é recomendado quando a água de alimentação contem teores de ferro acima de 0,1 mg/L.

Foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica a comunidade Calvário, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 32 e na integra no Anexo 7.5.

Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 2.000 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 32. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Calvário.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--|
| 3                   | 1.300                      | 600                     | 700                        | 3                         | 82,12               | 12.896,85              | 46              | 1,36                                     |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 34) foi recuperado e está operando com uma recuperação de 20% e uma produção de 300 L/h de permeado (água dessalinizada) com total de sólidos dissolvidos no valor de 280 mg/L (concentração de sais).

Os dados de operação do equipamento verificados durante a visita foram:

- $P1 = 1,7$  Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- $P2 = 1,7$  Bar (manômetro de registro de pressão na saída dos filtros de cartucho na etapa de pré-tratamento).
- $P3 = 8,3$  Bar (manômetro de registro de pressão na entrada dos vasos permeadores ou pressão de recalque da bomba booster).
- $P4 = 7,6$  Bar (manômetro de registro de pressão de saída dos vasos permeadores ou pressão na saída do concentrado).
- $\Delta P_{34} = P3 - P4 = 8,3 - 7,6 = 0,7$  Bar (o monitoramento da variação da pressão nos vasos permeadores é muito importante para verificar os indicativos de manutenções preventivas nas membranas).
- $Q1 = 5$  LPM = 300 L/h (rotâmetro de registro da vazão do permeado)
- $Q2 = 20$  LPM = 1.200 L/h (rotâmetro de registro da vazão do concentrado)
- $R = 5/(5 + 20) \times 100 = 20$  % (taxa de recuperação do equipamento)
- Regulagem da bomba dosadora da solução antincrustante: 30 %
- Vazão de injeção da solução antincrustante = 1,8 L/h
- Antincrustante utilizado: FLOCON 135

A variação da pressão ( $\Delta P_{12} = P1 - P2$ ) no conjunto de filtros de cartuchos é muito importante para verificar o momento certo para troca, porém, não foi possível determinar a pressão de entrada do conjunto de filtros de cartucho, pois o manômetro P1 não estava registrando a pressão.





**Figura 34. Equipamento de dessalinização da comunidade Calvário.**

#### 4.5.2 Comunidade Santo Antonio.

O sistema de dessalinização utiliza como fonte hídrica um poço tubular profundo que possui vazão de 1.500 L/h e fornece água dessalinizada para atender 60 famílias e está localizado conforme coordenadas apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33. Coordenadas Geográficas do sistema da Comunidade Santo Antonio.

| <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|-----------------|------------------|
| S 09° 29' 45,1" | W 36° 45' 46,7"  |

A análise da água do poço da comunidade apresentou valores para sólidos totais dissolvidos, dureza, concentrações de sódio e cloreto acima do valor máximo permissível segundo a portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde, conforme pode ser visualizado no Anexo 7.4 através do laudo emitido pelo Laboratório de Referência em Dessalinização da Universidade Federal da Paraíba (LABDES/UFCG). Os cálculos dos potenciais de incrustação para a água do poço apresentaram tendência à precipitação de Carbonato de Cálcio ( $ISL > 0$ ) sendo indicado a implantação de pré-tratamento químico com adição de um inibidor de incrustação para evitar a deposição de  $CaCO_3$  na superfície das membranas. A água

do poço não apresentou tendência a incrustações de sulfato de cálcio e sílica, conforme projeto apresentado no Anexo 7.5.

Foi realizada a simulação de um equipamento de dessalinização com uma produção de 600 L/h, considerando a utilização de três membranas de osmose inversa conforme observado na visita técnica a comunidade Santo Antonio, cujos resultados encontram-se resumidos na Tabela 34 e na íntegra no Anexo 7.5. Para o cálculo do tempo de operação do equipamento (h/dia) foi considerado que para uma demanda de 40 L/dia.família, a comunidade necessita de 2.400 L/dia de água dessalinizada.

Tabela 34. Resultado da simulação realizada para projeto do dessalinizador da comunidade Santo Antonio.

| NÚMERO DE MEMBRANAS | VAZÃO DA ALIMENTAÇÃO (L/h) | VAZÃO DO PERMEADO (L/h) | VAZÃO DO CONCENTRADO (L/h) | TEMPO DE OPERAÇÃO (h/dia) | TDS PERMEADO (mg/L) | TDS CONCENTRADO (mg/L) | RECUPERAÇÃO (%) | CONSUMO DE ENERGIA (Kwh/m³) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 3                   | 1.300                      | 600                     | 700                        | 4                         | 130,70              | 18.652,91              | 46              | 1,68                        |

Durante visita técnica ao sistema de dessalinização, foi verificado que o equipamento pertencente ao DNOCS/AL (Figura 35) foi recuperado, mas não estava em operação por motivo de manutenção da bomba de alta pressão. Por essa razão não foi possível ligar o equipamento para coletar as variáveis de operação.



Figura 35. Equipamento de dessalinização da comunidade Santo Antonio.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório teve como objetivo verificar o alinhamento da metodologia do Programa Água Doce (PAD) no estado de Alagoas, com relação ao Componente Dessalinização, através da observação do desenvolvimento do programa com relação às diretrizes estabelecidas nos Documentos Base e de Orientações técnicas dos Componentes do PAD.

A elaboração de projetos de equipamentos de dessalinização e o estudo dos potenciais de incrustação das águas dos poços são fundamentais para o processo de implantação dos sistemas e gestão do componente dessalinização do Programa Água Doce visando à qualidade da água produzida para consumo humano e o aumento da vida útil das membranas de osmose inversa.

Nos sistemas de dessalinização visitados não foi apresentado pela empresa fornecedora dos equipamentos de dessalinização, os projetos dos equipamentos simulados em software do fabricante das membranas que estão sendo utilizadas e os projetos de dosagem do antincrustante em função do estudo dos potenciais de incrustação. Os projetos dos equipamentos de dessalinização juntamente com os dados de operação coletados durante a visita técnica servirão para verificar a regulagem correta do equipamento.

Sabemos que a vazão do permeado máxima permissível para as dimensões da membrana utilizada (4" de diâmetro e 40" de comprimento), considerando uma área da membrana de 7,6 m<sup>2</sup> e um fluxo de operação de 31 L/m<sup>2</sup>.h (dados encontrados na ficha técnica da membrana utilizada), não corresponde as vazões de produção de permeado aplicadas nos equipamentos das comunidades Gravatá (750 L/h), Manuê (750 L/h) e Pau Ferro (1.140 L/h) onde deveríamos ter uma produção máxima de 235 L/h por membrana, que nos casos especificados são equipamentos com 03 membranas e deveriam ter uma produção máxima de 706 L/h. Da mesma forma, foram observados vazões de produção inadequadas nos equipamento das comunidades Grotão (1.440 L/h) e Várzea de Dona Joana (1.440 L/h) que nos casos especificados são equipamentos com 06 membranas e deveriam ter uma produção máxima de 1.413 L/h. Operar o equipamento ultrapassando a capacidade de fluxo limite de cada membrana pode reduzir significativamente a vida útil das mesmas.

Ainda com relação ao fluxo do permeado, os equipamentos das comunidades de Gravatazinho (360 L/h) e Calvário (300 L/h) estão operando abaixo da capacidade de produção em função da membrana utilizada, estando ambos os sistemas operando com recuperações de 15 % e 20 %, respectivamente, inferiores aos resultados de 45 % e 46 % obtidos nas simulações e apresentados neste relatório.

O mesmo foi observado para as recuperações aplicadas nos equipamentos das comunidades Grotão (31 %), Manuê (26 %) e Lagoa dos Porcos (28 %). Os demais equipamentos estão operando com recuperações superiores comparados aos resultados obtidos nos projetos.

Os equipamentos em questão podem ter sido regulados na partida do sistema de acordo com projeto específico, e com a operação no decorrer do tempo, devido à forma como os operadores foram orientados, a regular o equipamento sempre que for posto em operação, sempre haverá uma tendência a modificar as variáveis de operação.

Nesses casos, o equipamento deve se novamente regulado pelo fabricante, de acordo com os dados de projeto, e deve ser dada a orientação de, somente fazer o acompanhamento do desempenho do sistema através do registro dos dados de pressão e vazão apresentados nos instrumentos de medidas no painel do equipamento no momento da operação.

Após a regulagem e registros dos dados, as variações destes registros vão indicar quando as manutenções deverão ser efetivadas, tais como: limpezas químicas das membranas ou troca dos filtros de cartucho.

Essas observações reforçam a importância das recomendações de se obter os projetos elaborados de acordo com as análises físico químicas das águas dos poços utilizados como fonte hídrica para os sistemas de dessalinização. Os dados de projeto são essenciais para regulagem do sistema, inicialmente. Caso, na prática, os dados de regulagem fiquem muito diferentes dos dados de projeto, nova coleta de amostra de água bruta e nova análise físico química deverão ser realizadas para ajuste nas variáveis de operação do equipamento.

Através das análises físico-químicas arquivadas na SEMARH/AL (Anexo 7.4), foi observado que todas as águas dos poços apresentaram concentração de sais (Total de Sólidos Dissolvidos) que não atende aos padrões de potabilidade segundo a portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde. Em todos os casos é recomendada a instalação de dessalinizadores para remoção de sais da água que se deseja tratar para consumo humano.

Quanto aos potenciais de incrustação de sais para membranas de Osmose Inversa somente foi possível verificar para as águas dos poços dos sistemas de Cálvario e Santo Antonio, no município de Igaci, pois as análises físico químicas encontradas continham parâmetros de caracterização da água suficientes para realização dos cálculos necessários. Nestas duas comunidades, a água do poço apresentou tendência à precipitação de carbonato de cálcio ( $ISL > 0$ ) sendo indicado a implantação de pré-tratamento químico com adição de um inibidor de incrustação para evitar a deposição de  $CaCO_3$  na superfície das membranas. Por outro lado, as águas dos poços destas comunidades não apresentaram tendência a incrustações por sulfato de cálcio e sílica, conforme projetos apresentados no Anexo 7.5.

As águas dos poços das comunidades Gravatazinho (1,44 mg/L), Várzea de Dona Joana (0,87 mg/L) e Calvário (0,37 mg/L) apresentaram teores de ferro ( $> 0,1$  mg/L) que podem ocasionar problemas aos sistemas de dessalinização. A deposição de precipitados de ferro nas membranas diminui o desempenho do sistema operacional, reduzindo o fluxo do permeado. Além disso, a presença de ferro na água de alimentação do sistema torna as membranas mais suscetíveis aos danos causados por oxidação. O pré-tratamento para evitar a precipitação de compostos de ferro na superfície das membranas em sistemas de osmose inversa é recomendado quando a água de alimentação contém teores de ferro acima de 0,1 mg/L.

Todos os sistemas de dessalinização visitados possuem pré-tratamento químico da água com adição de um inibidor de incrustação a base de ácidos orgânicos policarboxílicos (Flocon 135), sendo este o mais indicado em se tratando de sistemas de dessalinização para produção de água para consumo humano.

Os antincrustantes a base de ácidos orgânicos combinados estão disponíveis no mercado e já se apresentam balanceados quimicamente tornando

sua aplicação direta na quantidade requerida em cada caso. A proposta de utilizá-los em prevenção de incrustações em sistemas de OI leva em conta além de sua grande capacidade em prevenir incrustações, seu caráter atóxico na dosagem recomendada; sendo desprezível a existência de algum resíduo após o tratamento e o manuseio seguro dos ácidos em estado puro por serem ácidos orgânicos considerados fracos.

Nos produtos a base de ácidos orgânicos multifuncionais o grupo quelante é o ácido carboxílico. Quando se fala em utilizar ácidos orgânicos aditivados propõem-se aliar substâncias de caráter efetivamente antincrustantes ao fato destas serem oriundas de fontes naturais, inofensivas a saúde e ao meio ambiente.

Com relação à qualidade da água produzida nos sistemas de dessalinização, as concentrações de sais (ppm) foram mensuradas com auxílio de um condutímetro e estão de acordo com a Portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde. A água produzida também se enquadra nas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) quanto ao teor de sais mínimo (> 75 mg/L) para manter as qualidades nutricionais da água para consumo humano.

Após análise técnica dos dados e informações coletadas nas comunidades do Estado de Alagoas, considera-se que os sistemas que estão sendo implantados atendem em parte a metodologia contida nos documentos referenciais do PAD, sendo necessários ajustes segundo as recomendações a seguir:

1. As análises físico-químicas e bacteriológicas da água bruta do poço, do permeado produzido pelo dessalinizador e da água do chafariz devem ser realizadas para monitoramento da qualidade das águas do sistema de dessalinização e o laudo comprovando a boa qualidade da água produzida, nos termos da Portaria MS 2.914/2011, deverá ser fixado em um envelope plástico fixado na parede do chafariz.

2. Nas comunidades cujas águas dos poços apresentaram elevados teores de ferro (> 0,1 mg/L) deve-se efetivar o pré-tratamento com dosagem de um anti-incrustante para ferro (ex: Flocon 260) afim de proteger as membranas de OI dos efeitos incrustantes e oxidantes do ferro. Para teores acima de 1 mg/L recomenda-se um pré-tratamento da

água do poço baseado na utilização do processo de aeração para oxidação da forma solúvel ( $\text{Fe}^{2+}$ ) para a forma insolúvel ( $\text{Fe}^{3+}$ ) para em seguida passar por um filtro de areia ou filtro sequestrante de ferro. Nesses casos, recomenda-se ainda, a dosagem do antincrustante para ferro para garantir uma maior proteção para as membranas do sistema.

3. O permeado dos equipamentos instalados deve ser submetido a um pós-tratamento que consiste na cloração da água dessalinizada para manter um residual de cloro livre mínimo de 0,2 mg/L no reservatório do permeado. Esta medida tem como objetivo garantir a qualidade da água durante a distribuição e utilização final pelos usuários e atender às exigências aplicáveis aos sistemas alternativos coletivos de abastecimento de água para consumo humano da portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde.

4. Foram verificados que os equipamentos das comunidades Pau Ferro, Gravatá, Grotão, Manuê e Santo Antonio não possuíam identificação para os manômetros e rotômetros orientando na leitura das variáveis de medida para monitoramento do dessalinizador. Estes equipamentos devem ser identificados quanto às posições dos medidores de pressão no painel do equipamento segundo a metodologia do Programa Água Doce, onde: P1 = Pressão de entrada do conjunto de filtros de cartucho; P2 = Pressão de saída do conjunto de filtros de cartucho; P3 = Pressão de entrada das membranas e P4 = Pressão de saída das membranas.

5. A utilização de placas ou adesivos para identificação dos itens que compõe o dessalinizador é necessário para a correta operação e monitoramento do equipamento pelo operador do sistema, principalmente, no que diz respeito, aos medidores de vazão e pressão que vão registrar as variáveis de projeto dos equipamentos para identificar possíveis problemas ou sinais de necessidade de manutenção durante a operação do dessalinizador.

6. Recomendamos o uso de válvulas globo de aço inox para a regulagem da vazão da saída do concentrado e por conseqüência, da

taxa de Recuperação, que é a principal regulação do sistema, fator este primordial para um bom rendimento do sistema e manutenção das membranas. Esta regulação é muito prejudicada quando se usa registros de esfera, pois existe uma tendência de desregulação pelos esforços hidráulicos atuante na esfera do registro.

7. Recomendamos o uso de válvulas globo de aço inox na saída da bomba de alta pressão (bomba booster), necessária e imprescindível para regulação da pressão P3 do sistema, que é a pressão necessária para que o processo de osmose inversa ocorra no interior dos vasos.

8. Recomendamos utilizar ambos, a bóia elétrica de nível no reservatório de alimentação, para desligar a bomba auxiliar no caso de falta de alimentação e o pressostato, com o objetivo de desligar a bomba de alta pressão, caso falte água de alimentação para o sistema.

9. Recomendamos a troca dos manômetros com defeito e a manutenção para conserto de partes quebradas na tubulação hidráulica, de bombas e de todos os vazamentos encontrados.

10. Recomendamos a higienização do abrigo, dos reservatórios da solução antincrustante e da bombona de retrolavagem.

11. Recomendamos nova capacitação para reciclagem dos conhecimentos entre os operadores.

12. Proteger a entrada do extravasor do reservatório do permeado com tela para evitar a entrada de pequenos animais, aves ou insetos.

13. Identificação dos reservatórios da água do poço, permeado e concentrado.

A elaboração dos projetos dos dessalinizadores e as recomendações propostas contribuirão para gestão do componente dessalinização através da assistência técnica, no que se refere ao acompanhamento da operação, monitoramento e manutenção segundo a metodologia do Programa Água Doce para os sistemas de dessalinização instalados no Estado de Alagoas.



## 6 REFERÊNCIAS

ALAGOAS, SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE DE ALAGOAS. Informe sobre a situação da mortalidade infantil de Alagoas. Ano 1, nº 1. Maceió: SESAU. Março/2010.

ALAGOAS, SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E DO ORÇAMENTO. Anuário Estatístico, 2007. Maceió: SEPLAN, V. 14, 2007. 512p.

ALAGOAS, SECRETARIA DE ESTADO DE RECURSOS HÍDRICOS E IRRIGAÇÃO. Base Cartográfica Digital e Zoneamento do Estado de Alagoas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. (Relatório Final). V.2 (Delimitação das Bacias Hidrográficas e Bases para o Zoneamento). HISA Engenharia Ltda. Salvador, julho/2002. 64p.

AMJAD, Z., Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry & Industrial Applications, Van Nostrand-Reinold, New York, 1992.

ANA. AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. PROÁGUA Semiárido: realizações e resultados. Avaliação Institucional do Subprograma de Desenvolvimento Sustentável. Tecnologia e Consultoria Brasileira S. A., 2005. 80 p. Brasília.

ANG, W. S., LEE, S. & ELIMELECH, M., Chemical and physical aspects of cleaning of organic-fouled reverse osmosis membranes, Journal of Membrane Science, v. 272, p. 198-210,2006.

BRANDT, D. C., LEITNER, G. F. & LEITNER, W. E., Reverse osmosis membrane states of the art. In Zahid Amjad (ed), Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry & Industrial Applications, Van Nostrand-Reinold, New York, 1993.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Nova delimitação do semiárido brasileiro. 2005.

BYRNE, W., Reverse Osmosis – A practical guide for industrial users, Tall Oaks Publishing, Inc., 2nd edition, USA, 2002.

DERISIO, J. C. Introdução ao Controle de Poluição Ambiental. Oficina de Textos, 4ª Edição, São Paulo, 2012.

DOW LATIN AMERICA, A tecnologia de membrana de osmose reversa. Boletim Técnico, 1996.

EL-DESSOUKY, H. T. & ETTOUNEY, H. M., Fundamentals of Salt Water Desalination, Ed. Elsevier, 1st edition, 2002.

EL-MANHARAWY, S. and HAFEZ, A., Molar ratios as a useful tool for predictions of scaling potencial incide RO systems. Desalination, vol. 136, pp.243-254, 2001.

FERNANDES, C., Texto organizado a partir de "notas de aula" do curso Análise de Água e de Esgotos, Departamento de Eng. Civil do CCT/UFMG. Disponível em: <http://www.saneamento10.hpg.ig.com.br/Agua00.htm?submit=Voltar+ao+%CDndice>

FERREIRA, W. B. *Solução Alternativa de Abastecimento de Água para Consumo Humano em Comunidades Difusas: Monitoramento e Controle de Qualidade da Água.* (folhas). 158. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

FILMTEC, Tech Manual, Dow Chemical Company, 2008.

FRANÇA, K. B., Aplicação da Osmose Inversa em Desalinização. Escola Latino América de Membranas e Processos com Membranas, Campina Grande, 2007.

GABELICH, C. J., YUN, T. I., COFFEY, B. M. et al., Pilot-scale testing of reverse osmosis using conventional treatment and microfiltration, Desalination, v.154, p 207-223, 2003

GHAFOUR, E. E. A., Enhancing RO system performance utilizing antiscalants. Desalination 153: 149-153, 2002.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contagem populacional 2007. Rio de Janeiro, IBGE, 2007. 311p.

KERR, T. J. & McHALE, B., Application in general microbiology: A laboratory manual. 6th ed. Hunter Textbooks INC., Winston-Salem, 2001.

KO, A. and GUY, D. B., Brackish and seawater desalting. In: Reverse Osmosis Technology: applications for high purity water production (PAREKH, B. S. ed.), Marcel Dekker inc., New York, pp. 185-278, 1998.

LEE, S., ANG, W. S. & ELIMELECH, M., Fouling of reverse osmosis membranes by hydrophilic organic matter: implications for water reuse. Desalination, v. 187, p. 313-321, 2006.

MALLEVIALLE, J., ODENDAAL, P.E. & WIESNER, M.R., The emergence of membranes in water and wastewater treatment. In: Joel Mallevalle et al (eds), Water Treatment Membrane Processes, pp. 1.1-1.10. McGraw Hill, New York, 1996.

MANUAL DE DESSALINIZAÇÃO PARA PLANEJADORES, Secretaria de Recuperação, Engenharia e Centro de Pesquisas de Denver, Colorado, EUA. Primeira Edição, 1972.

MMA. *Documento Base do Programa Água Doce*. 2010. Disponível no sítio eletrônico <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce/>. Acesso em março/2015.

OLIVEIRA, D. R., Pré-tratamento do processo de osmose inversa utilizando a microfiltração e investigação de técnicas de limpeza e recuperação de membranas, Dissertação - (Mestrado em Engenharia Química), UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2007.

PEREIRA, E., A utilização de ácidos orgânicos combinados na limpeza e recuperação de poços tubulares incrustados: o exemplo de Tietê (SP). X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

PNUD. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, 2000.

RAUTENBACH, R., ALBRECHT, R. Membrane Processes. New York, John Wiley e Sons, 1989.

SCHNEIDER, R. P., & TSUTIYA, M. T., *Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso*. São Paulo: ABES, 1ª ed, 2001.

SOUSA, S. E. H., Normalização de sistemas de dessalinização via OI. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFCG, Campina Grande – PB, 2003.

TAYLOR, J. S. & JACOBS, E.P. Reverse osmosis and nanofiltration. In: Joel Mallevialle et al (Ed). *Water Treatment Membrane Processes*. New York: McGraw Hill, 1996.

VROUWENVELDER, H. S., PAASSEN, J. A. M. van, FOLMER, H. C., HOFMAN, A. M. H. , NEDERLOF, M. M. & KOOIJ, D. van der, Biofouling of membranes for drinking water production, *Desalination* 118: 157-166, 1998.

VROUWENVELDER, J.S. & KOOIJ, D. van der, Diagnosis of fouling problems of NF and RO membrane installations by a quick scan. *Desalination* 153: 121-124, 2002.

WAGNER, J., *Membrane Filtration Handbook – Pratical tips and hits*. Second Edition. Osmonics Filtration and Separation Group. Minnetonka, 2001.

## 7 ANEXOS

### 7.1 GRÁFICOS PARA CÁLCULOS DOS POTENCIAIS DE INCRUSTAÇÃO.

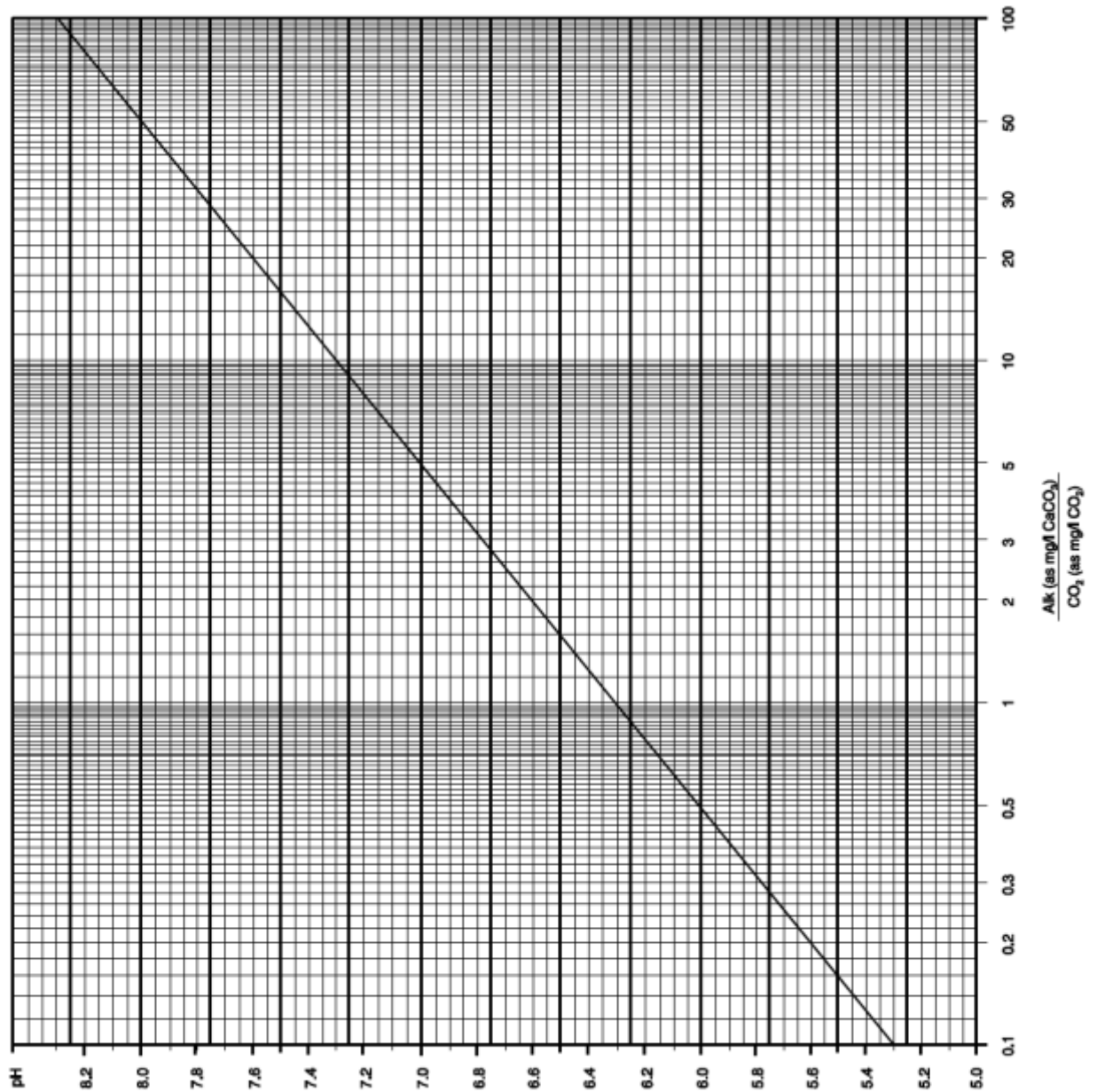


Gráfico 1. pH em função da relação Alcalinidade/CO<sub>2</sub> livre (Filmtec, 2008).



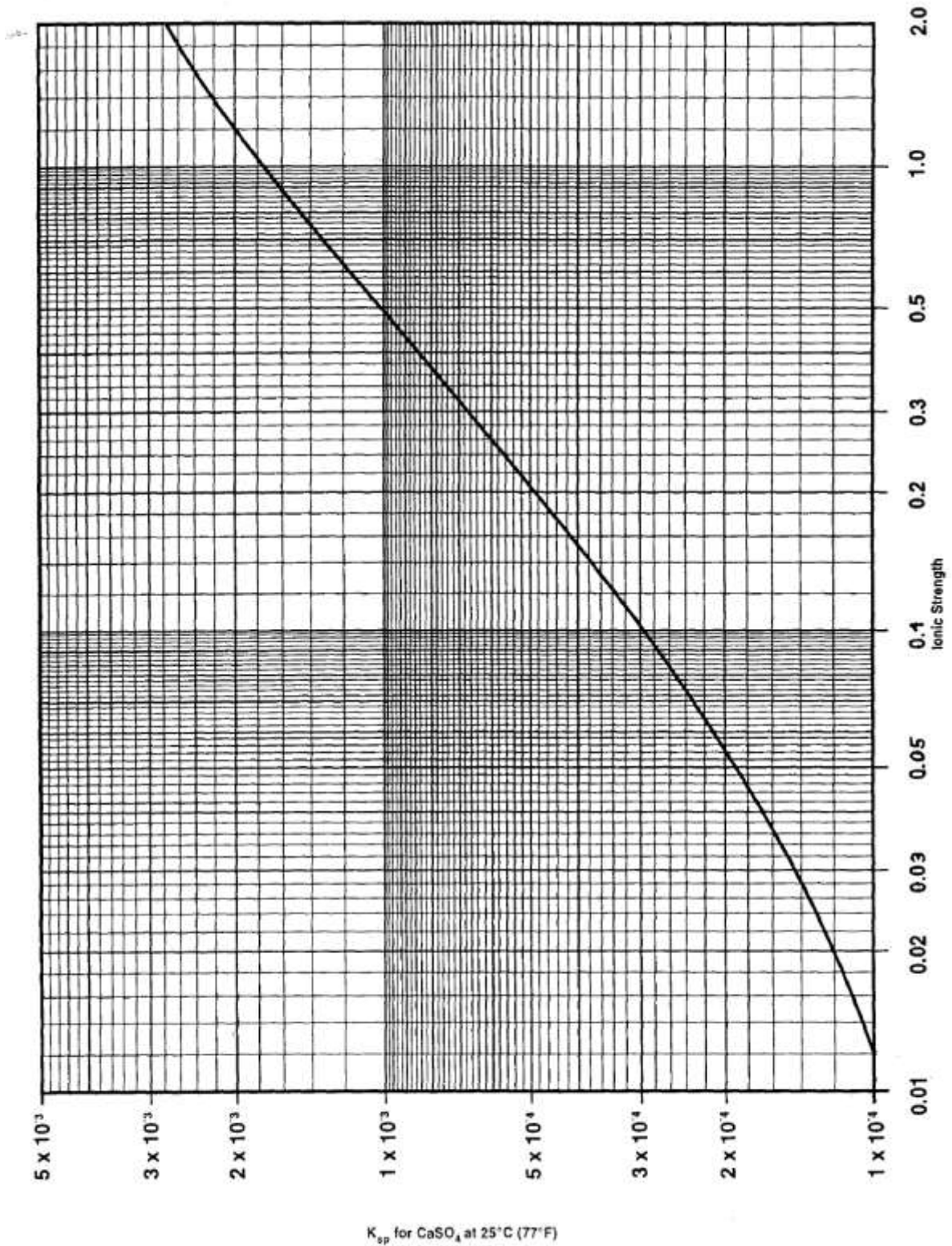


Gráfico 3. Produto de solubilidade para Sulfato de Cálcio em função da força iônica da solução (Filmtec, 2008).

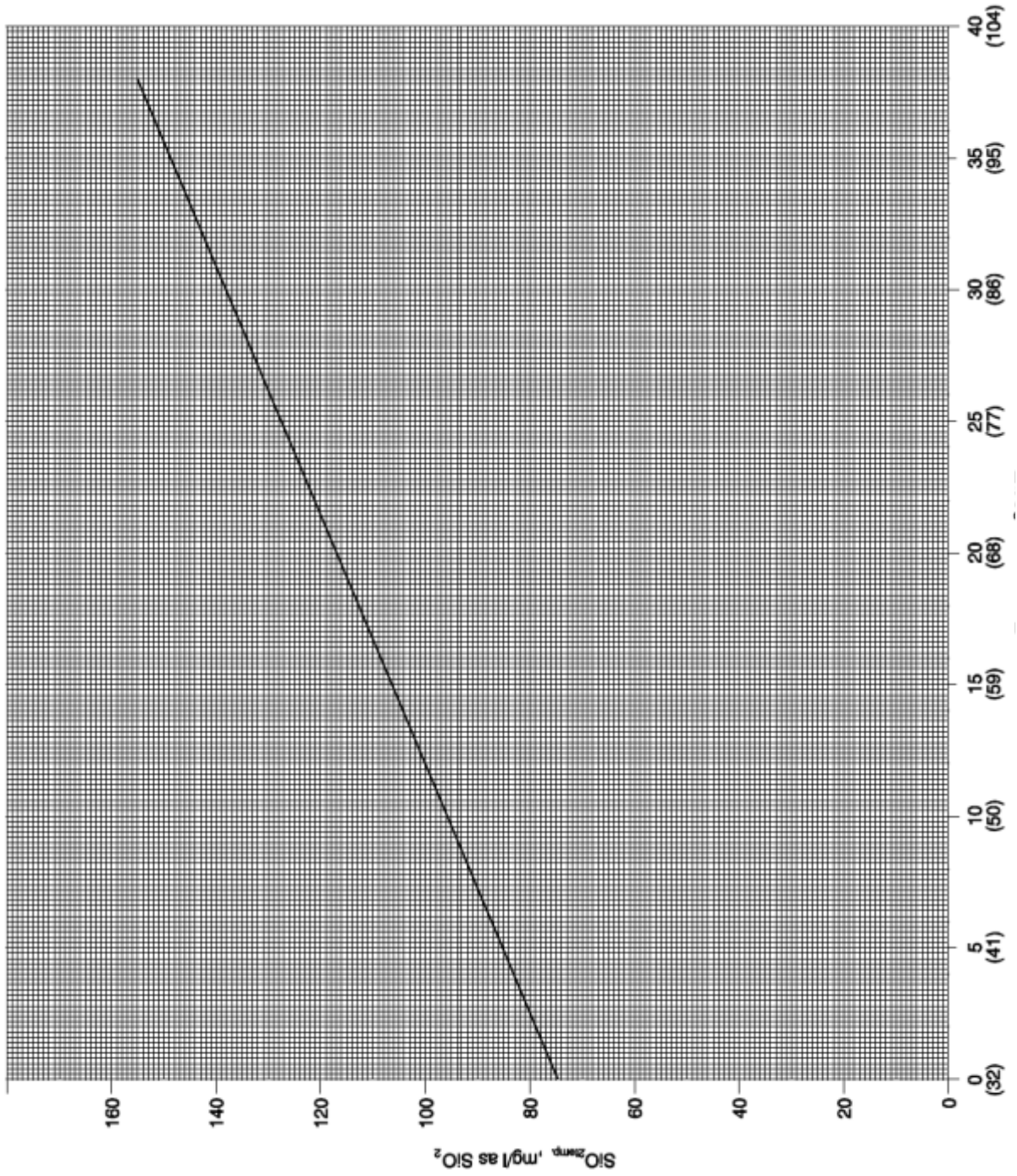


Gráfico 4. Solubilidade da Sílica em função da temperatura (Filmtec, 2008).



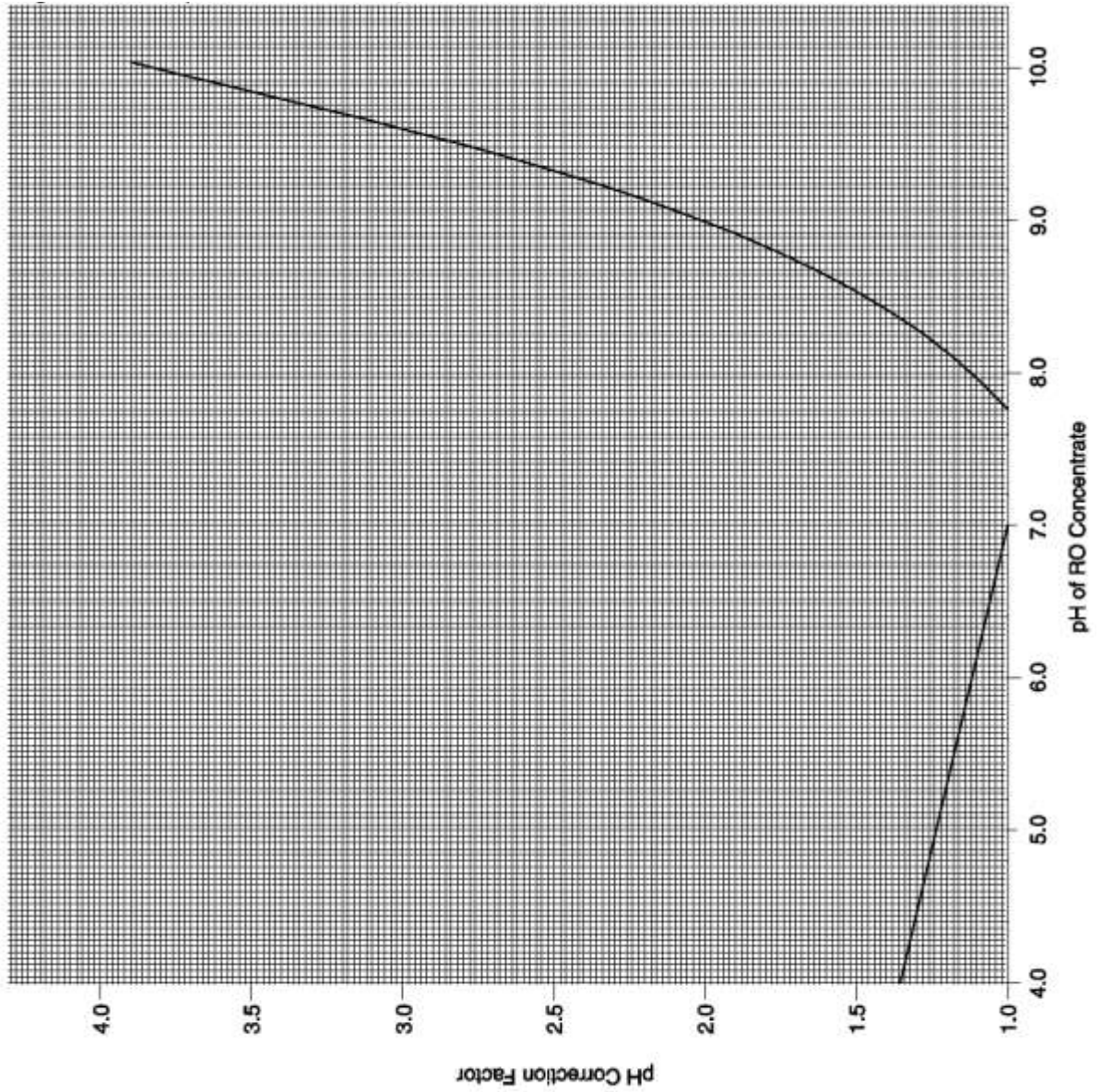


Gráfico 5. Fator de correção do pH para Sílica (Filmtec, 2008).

## 7.2 FICHA TÉCNICA - MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA.



Fiche produit

**LENNTECH**

 info@lennotech.com Tel. +31-152-610-900  
 www.lennotech.com Fax. +31-152-616-289

### Membranes FILMTEC™

Éléments en fibre de verre FILMTEC pour les systèmes industriels légers

#### Caractéristiques et avantages

Les éléments membranaires FILMTEC™ d'osmose inverse pour le traitement d'eau saumâtre fournissent une performance remarquable et stable du système dans les applications industrielles légères.

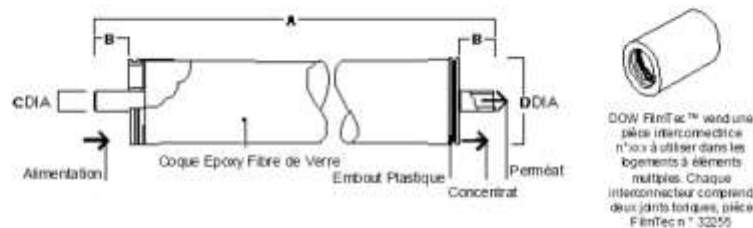
- Le FILMTEC LE-4040 offre la performance la plus élevée aux plus faibles pressions, ce qui résulte en une moindre dépense énergétique et en des coûts plus faibles.
- Le FILMTEC BW30-4040 représente la norme industrielle pour un fonctionnement fiable et une production d'une eau de la plus haute qualité.
- Les éléments FILMTEC BW30-2540 sont conçus pour des systèmes de débits inférieurs à 0,2 m<sup>3</sup>/h (1 gpm) et ils disposent d'une coque rigide qui leur donne une résistance supplémentaire.

Les éléments à coque rigide sont recommandés pour les systèmes à logements d'éléments multiples renfermant trois membranes ou plus, dans la mesure où ils sont conçus pour supporter d'importantes chutes de pression.

#### Caractéristiques du produit

| Produit   | N° de pièce | Surface active<br>m <sup>2</sup> (pi <sup>2</sup> ) | Épaisseur de<br>l'espaceur (mm) | Débit du perméat<br>gpd (m <sup>3</sup> /j) | Rejet de sel<br>stabilisé (%) |
|-----------|-------------|---|---------------------------------|---|-------------------------------|
| LE-4040   | 275173      | 7,2 (78)  | 34                              | 9,5 (2 500)                                 | 99,0                          |
| BW30-4040 | 80783       | 7,3 (78)  | 34                              | 9,1 (2 400)                                 | 99,5                          |
| BW30-2540 | 80786       | 2,6 (28)  | 28                              | 3,2 (850)                                   | 99,5                          |

1. Débit de perméat et rejet de sel selon les conditions standard suivantes : 2,000 ppm NaCl, pression appliquée: 150 psig (10,3 bar) pour LE-4040 et 225 psig (15,5 bar) pour BW30-4040 et BW30-2540, 25 °C (77 °F) et recouvrement 15 %.
2. Les débits de perméat pour les éléments individuels peuvent varier de +/-20%.
3. À des fins d'amélioration, les caractéristiques techniques peuvent être périodiquement modifiées.
4. LE-4040 remplace BW30LE-4040.

**Figure 1**


| Produit   | Dimensions - pouces (mm) |             |           |          |
|-----------|--------------------------|-------------|-----------|----------|
|           | A                        | B           | C         | D        |
| LE-4040   | (1 016) 40,0             | 26,7 (1,06) | 19 (0,75) | 99 (3,9) |
| BW30-4040 | (1 016) 40,0             | 26,7 (1,06) | 19 (0,75) | 99 (3,9) |
| BW30-2540 | (1 016) 40,0             | 30,2 (1,19) | 19 (0,75) | 61 (2,4) |

1. Pour les systèmes utilisant plusieurs éléments, suivez les directives de FilMTEC FilMTEC.
2. Les éléments BW30-2540 sont adaptés à un tube de pression au diamètre intérieur nominal de 203 mm (2,5 pouces). Les éléments BW30LE-4040 et BW30-4040 sont adaptés à un tube de pression au diamètre intérieur nominal de 4 po. 1 pouce = 25,4 mm

|                              |  |   |
|------------------------------|--|---|
| <b>Limites d'utilisation</b> | • Type de membrane                                   | Fine pellicule de polyamide composite   |
|                              | • Température de fonctionnement maximum <sup>a</sup> | 45 °C (113°F)   |
|                              | • Pression de fonctionnement maximum                 | 600 psig (41 bar)   |
|                              | • Débit d'alimentation maximum                       | - 4040 éléments 16 gpm (3,6 m <sup>3</sup> /h)<br>- 2540 éléments 6 gpm (1,4 m <sup>3</sup> /h) |
|                              | • Perte de charge maximum                            | 15 psig (1,0 bar)   |
|                              | • Plage pH, en régime continu <sup>a</sup>           | 2 à 11  |
|                              | • Plage pH, nettoyage de courte durée <sup>b</sup>   | 1 à 13  |
|                              | • Indice de colmatage (SDI) maximum                  | SDI 5   |
|                              | • Quantité tolérée de chlore libre <sup>c</sup>      | < 0,1 ppm   |

<sup>a</sup> La température maximale en fonctionnement continu avec un pH >10 est 35 °C (95 °F).

<sup>b</sup> Veuillez vous reporter aux instructions de nettoyage de la fiche n° 609-23010.

<sup>c</sup> Dans certaines conditions, la présence de chlore libre et d'autres agents oxydants peut provoquer une attaque de la couche membranaire. Comme l'oxydation n'est pas couverte par la garantie, FirmTec recommande d'éliminer tous les résidus de chlore libre par un pré-traitement avant d'utiliser la membrane. Pour plus d'information, veuillez vous référer au bulletin technique n° 609-22010.

### Information importante

Il est essentiel de procéder à une mise en service correcte du système de traitement de l'eau par osmose inverse de manière à préparer les membranes et à prévenir leur endommagement qui pourrait résulter d'une suralimentation ou d'un choc hydraulique. Une mise en service adéquate est l'assurance que tous les paramètres de fonctionnement du système sont conformes aux spécifications afin d'atteindre les objectifs de qualité de l'eau et de productivité du système.

Avant de procéder à la mise en service, il est essentiel de vérifier des points tels que le pré-traitement des membranes, l'installation des éléments, le calibrage de l'instrumentation et les différents contrôles à effectuer.

Pour de plus amples renseignements, veuillez consulter le document "Start-Up Sequence" (Fiche n° 609-02077).

### Consignes d'utilisation

Éviter les variations brusques de pression et de vitesse d'écoulement transversal sur les éléments spiralés durant la mise en service, l'arrêt, le nettoyage et les autres procédures afin d'éviter d'endommager les membranes. La mise en service doit être graduelle et conforme aux recommandations suivantes :

- La pression d'alimentation doit être augmentée progressivement dans un intervalle de 30 à 60 secondes.
- La vitesse opérationnelle d'écoulement transversal doit être atteinte progressivement dans un intervalle de 15 à 20 secondes.
- Le perméat obtenu pendant la première heure de mise en service doit être jeté.

### Informations Générales

- Les éléments doivent toujours rester humides après la mise en eau initiale.
- Si les limites opérationnelles et les spécifications indiquées sur cette fiche d'information ne sont pas strictement respectées, la garantie limitée sera nulle et non avenue.
- Afin de prévenir toute prolifération biologique pendant les arrêts prolongés de l'installation, nous recommandons d'immerger les éléments de membranes dans une solution de conservation.
- Le Client est entièrement responsable des effets causés par des produits chimiques ou lubrifiants incompatibles.
- La perte de charge maximale dans toute la longueur d'un tube de pression est de 3,4 bars (50 psi).
- Éviter systématiquement un retour de pression statique du côté perméat.

### Note réglementaire

Ces membranes peuvent être soumises à des restrictions concernant la production d'eau potable dans certains pays : veuillez vérifier le statut d'application avant l'usage et la vente.





7.3 FICHA TÉCNICA - INIBIDOR DE INCRUSTAÇÃO.

**MEMBRANE CLEANERS AND ANTISCALANTS**

**Flocon® 260 - Premium Antiscalant and Antifoulant for Membrane Systems**



**Product Description**

Flocon 260 is an aqueous solution of a specialized polycarboxylic acid, highly effective in controlling the deposition of inorganic scale forming salts and particulate fouling on membrane surfaces.

- Excellent control of carbonate scales, sulphate and fluoride for cost effective operation
- Effectively control both soluble and insoluble iron
- Effective against silica fouling
- Dispersant
- Compatible with all major membranes
- International potable water approvals

**Typical Properties**

The following are typical properties for Flocon 260 and should not be regarded as specification limits for the product. A product specification is available on request.

|                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| Appearance                  | pale yellow liquid |
| pH                          | < 2                |
| Specific gravity at 20/20°C | 1.14 to 1.165      |
| Freezing point range        | 0 to -10°C         |

**Chemical Reactivity**

Flocon 260 is not affected by chlorine or other oxidising biocides under normal conditions of use. Flocon 260 may be used in membrane systems using chlorine and sodium metabisulphite.

**Application and Dose Level**

Flocon 260 is an aqueous solution of an organic acid and as such is corrosive in its concentrated form. Corrosion resistant dosing equipment should therefore be used. Examples of suitable materials are 316L stainless steel, or plastics such as GRP, PVC and PE.

The recommended injection point is into the feed water downstream of any filtration equipment and cartridge filters.

Flocon 260 is miscible with water in all proportions. It may be applied as the neat product, or as a solution in permeate. A minimum dosing solution strength of 10% w/w is recommended. Flocon 260 should be dosed continuously and proportionately to the feed water flow, to maintain the recommended dose level.

The dose level required is dependent on the quality of the feedwater and the saturation indices of the various scale forming species present in the concentrated brine. Proprietary computer software is used to calculate scaling indices and calculate optimum system recovery. Dose level projections and recommendations are available on request.

**Handling**

Flocon 260 is certified to ANSI / NSF Standard 60 for use in reverse osmosis systems producing potable water.

Please read the label and Material Safety Data Sheet before handling this product.

**Logistics**

Classification Hazardous for transportation, class 8  
Irritating to eyes for supply

| Part Number | Description                  | Net Weight |
|-------------|------------------------------|------------|
| FLO260-6    | Plastic drums                | 55 lbs     |
| FLO260-55   | Plastic drums                | 507 lbs    |
| FLO260-275  | Intermediate Bulk Containers | 2205 lbs   |




Corporate Office:  
2725 Commerce Parkway  
Auburn Hills, MI 48326


Toll Free: (800) 331-3118  
Fax: (248) 377-3172

Sales@tfsi1.com  
www.tfsi1.com


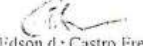
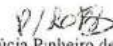
## 7.4 LAUDOS DE ANÁLISES LABORATORIAIS DAS ÁGUAS DOS POÇOS.

| <br><b>INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE</b><br><b>ESTADO DE ALAGOAS</b><br>Av. Major Cicero de Góes Monteiro, 2197,<br>Mutange<br>CEP: 57017-320 - Maceió/AL<br>Fones: 3315-1738/ 1766; Fax 3315-1732  | <b>DIRETORIA DE LABORATÓRIO AMBIENTAL - DILAB</b><br><b>GERÊNCIA DE LABORATÓRIO AMBIENTAL - GLAM</b> | R.A.N°: 434/2010                                      |                       |          |
|---|--|---|-----------------------|----------|
| Interessado: SEMARH / IMA- Programa Água Doce<br>Endereço:  |  | Fone:<br>Município: Maceió                            |                       |          |
| <b>DADOS DA AMOSTRA</b>   |  |   |                       |          |
| Local da coleta: Água de Poço   |  |   |                       |          |
| Município: Timbaúba/Cacimbinhas   | Estado: Alagoas  | Origem: Água  |                       |          |
| Responsável pela coleta: Juliana (SEMARH)   |  |   |                       |          |
| Data da coleta: 23-26/09/2010   |  | Data da entrada no laboratório: 27/09/2010            |                       |          |
| <b>CÓDIGO LABORATÓRIO</b>   | <b>PROCEDÊNCIA DA(S) AMOSTRA(S)</b>  |   |                       |          |
| 2809  | Água de Poço   |   |                       |          |
| 2810  | Água da Lagoa dos Porcos <i>(Potável de Alagoas)</i>   |   |                       |          |
| <b>RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS</b>  |  |   |                       |          |
| Parâmetros analíticos   | Padrões Especificados de Potabilidade, Portaria N° 518/2004, Ministério da Saúde                     | Métodos   | Resultados / Amostras |          |
|   |  |   | 2809                  | 2810     |
| Coliformes Termotolerantes (Fecais)   | Ausente NMP/100mL  | SMEWW 9221 B  | -                     | -        |
| Coliformes Totais   | Ausente NMP/100mL  | SMEWW 9221 B  | -                     | -        |
| Amônia  | Até 1,5 mg/L NH <sub>3</sub>   | SMEWW 4500 NB   | < 0,01                | 0,02     |
| Cloreto   | Até 250 mg/L Cl <sup>-</sup>   | SMEWW 4500 Cl <sup>-</sup> B                          | 1.952,92              | 1.867,59 |
| Cloro Livre   | 0,2 a 2,0 Cl <sub>2</sub>  | SMEWW 4500 Cl <sub>2</sub> B                          | 0,99                  | < 0,1    |
| Cor   | Até 15 uH*   | SMEWW 2120 C  | 17,4                  | 13,0     |
| Dureza Total  | Até 500 mg/L   | SMEWW 2340 C  | 1.173,3               | 980,0    |
| Ferro Total   | Até 0,3mg/L  | SMEWW 3500 Fe-F                                       | < 0,05                | < 0,05   |
| Nitrato   | Até 10 mg/L N  | SMEWW 4500-NO <sub>3</sub> E                          | 0,09                  | 0,09     |
| Nitrito   | Até 1,0 mg/L N   | SMEWW 4500-NO <sub>2</sub> B                          | 0,03                  | 0,02     |
| pH  | 6,0 a 9,5  | SMEWW 4500 H <sup>+</sup> B                           | 7,54                  | 6,30     |
| Salinidade  | Até 0,5 ‰, águas doces   | SMEWW 2520 D  | -                     | -        |
| Sólidos Dissolvidos Totais (STD)  | Até 1000 mg/L  | SMEWW 4500 C  | 4.489,0               | 4.348,0  |
| Sulfato   | Até 250 mg/L SO <sub>4</sub>   | SMEWW 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E            | 18,29                 | 18,17    |
| Turbidez  | Até 5 UT   | SMEWW 2130 B  | 0,52                  | 3,26     |
| * Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)  |  |   |                       |          |
| <b>CONCLUSÃO:</b> As análises realizadas no Laboratório Ambiental demonstram que os Resultados de Cloreto, Dureza Total e Sólidos Totais Dissolvidos nas amostras, e Cor na amostra 2.809, não atendem aos Padrões Especificados de Potabilidade da Portaria N° 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, em águas destinadas ao Consumo Humano. |  |   |                       |          |
| <b>OBSERVAÇÃO:</b> Para o resultado de Cloro Livre, a Legislação não menciona nenhuma citação.  |  |   |                       |          |
| <b>NOTA:</b> Métodos de análises utilizados estão descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"- APHA - ANWA WPCF, 20ª Edição.   |  |   |                       |          |
| Maceió, 13 de outubro de 2010.  |  |   |                       |          |
| Luciana Biggi de Souza<br>Técnica de Laboratório  |  | Edson de Castro Freitas<br>Engenheiro Químico / DILAB |                       |          |
| <i>"Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos"</i>  |  |   |                       |          |



|  <p><b>INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE<br/>ESTADO DE ALAGOAS</b><br/>Av. Major Cicero de Góes Monteiro, 2197,<br/>Mutange<br/>CEP: 57017-320 - Maceió/AL<br/>Fones: 3315-1738/ 1766; Fax 3315-1732</p> |  | <p><b>DIRETORIA DE LABORATÓRIO AMBIENTAL - DILAB<br/>GERÊNCIA DE LABORATÓRIO AMBIENTAL - GLAM</b></p> |  | <p>R.A.N°:272/2011</p> |         |          |
|--|--|---|--|------------------------|---------|----------|
| <p>Interessado: INA/SEMARH - Projeto Água Doce</p>   |  |   | <p>Fone:</p>                               |                        |         |          |
| <p>Endereço:</p>   |  |   | <p>Município: Maceió</p>                   |                        |         |          |
| <b>DADOS DA AMOSTRA</b>  |  |   |  |                        |         |          |
| Local da coleta:   |  |   |  |                        |         |          |
| Município:   |  | Estado: Alagoas   |  | Origem: Água de Poço   |         |          |
| Responsável pela coleta: o interessado   |  |   |  |                        |         |          |
| Data da coleta: 19/05/2011   |  |   | Data da entrada no laboratório: 19/05/2011 |                        |         |          |
| <b>CÓDIGO<br/>LABORATÓRIO</b>  |  | <b>PROCEDÊNCIA DA(S) AMOSTRA(S)</b>   |  |                        |         |          |
| 1587   |  | Água de Poço - Sítio São Mateus - Itaípu  |  |                        |         |          |
| 1588   |  | Água de Poço - Belo Horizonte - Itaípu  |  |                        |         |          |
| 1589   |  | Água de Poço - Pau Ferro - Batalha  |  |                        |         |          |
| 1590   |  | Água de Poço - Dos Valérios - Batalha   |  |                        |         |          |
| <b>RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS</b>   |  |   |  |                        |         |          |
| Parâmetros analíticos  | Padrões Especificados de Potabilidade,<br>Portaria N° 518/2004,<br>Ministério da Saúde | Métodos   | Resultados / Amostras                      |                        |         |          |
|  |  |   | 1587                                       | 1588                   | 1589    | 1590     |
| Amônia   | Até 1,5 mg/L NH <sub>3</sub>   | SMEWW 4500 NB   | < 0,01                                     | < 0,01                 | < 0,01  | < 0,01   |
| Cloreto  | Até 250 mg/L Cl <sup>-</sup>   | SMEWW 4500 Cl <sup>-</sup> B  | 1.300,3                                    | 809,28                 | 96,83   | 1.715,41 |
| Cor  | Até 15 uH*   | SMEWW 2120 C  | 5,2  | 5,2                    | 8,5     | 7,4      |
| Dureza Total   | Até 500 mg/L CaCO <sub>3</sub>   | SMEWW 2340 C  | 840,0                                      | 946,6                  | 258,0   | 1.180,0  |
| Ferro Total  | Até 0,3 mg/L   | SMEWW 3500 Fe-F   | < 0,05                                     | < 0,05                 | 0,15    | < 0,05   |
| Nitrato  | Até 10 mg/L N  | SMEWW 4500-NO <sub>3</sub> E  | < 0,01                                     | 2,12                   | 3,61    | 2,80     |
| Nitrito  | Até 1,0 mg/L N   | SMEWW 4500-NO <sub>2</sub> B  | < 0,01                                     | 0,02                   | 0,01    | 0,27     |
| pH   | 6,0 a 9,5 Recomendável   | SMEWW 4500 H <sup>+</sup> B   | 7,24                                       | 6,65                   | 7,32    | 7,75     |
| Salinidade   | Até 0,5 ‰, águas doces; Superior a 0,5 e inferior a 30 ‰, águas salobras               | SMEWW 2520 D  | 3,2  | 1,8                    | 0,4     | 3,8      |
| Sólidos Dissolvidos Totais (STD)   | Até 1000 mg/L  | SMEWW 4500 C  | 4.053,0                                    | 2.452,0                | 1.270,0 | 4.857,0  |
| Sulfato  | Até 250 mg/L SO <sub>4</sub>   | SMEWW 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E  | 86,45                                      | 35,54                  | 53,43   | 88,88    |
| Turbidez   | Até 5 UT   | SMEWW 2130 B  | 0,70                                       | 41,2                   | 10,5    | 0,89     |



|  <p><b>DIRETORIA DE LABORATÓRIO AMBIENTAL – DILAB</b><br/><b>GERÊNCIA DE LABORATÓRIO AMBIENTAL – GLAM</b></p>   |   | R.A.Nº: 339/2011  |                       |  |        |        |        |
|--|---|---|-----------------------|--|--------|--------|--------|
| <p>Av. Major Cleto de Góes Monteiro, 2197, Mutange<br/>CEP: 57017-320 - Maceió/AL.<br/>Fones: 3315-1738/ 1760; Fax 3315-1732</p>   |   |   |                       |  |        |        |        |
| Interessado SEMARH – PROJETO ÁGUA DOCE   |   | Fone:   |                       |  |        |        |        |
| Endereço:  |   | Município:  |                       |  |        |        |        |
| <b>DADOS DA AMOSTRA</b>  |   |   |                       |  |        |        |        |
| Local da coleta: Água de Poço  |   |   |                       |  |        |        |        |
| Município:   |   | Estado: Alagoas   | Origem: Água de Poço  |  |        |        |        |
| Responsável pela coleta: o interessado   |   |   |                       |  |        |        |        |
| Data da coleta: 07/2011  |   | Data da entrada no laboratório: 07/2011                         |                       |  |        |        |        |
| <b>CÓDIGO LABORATÓRIO</b>  |   | <b>PROCEDÊNCIA DA(S) AMOSTRA(S)</b>                             |                       |  |        |        |        |
| 2143   |   | Água de Poço-Povoado Várzea da Dona Joana –Poço das Trincheiras |                       |  |        |        |        |
| 2144   |   | Água de Poço-Povoado Gravatazinho- Poço das Trincheiras         |                       |  |        |        |        |
| 2145   |   | Água de Poço-Povoado Malhada- Poço das Trincheiras              |                       |  |        |        |        |
| 2146   |   | Água de Poço-Povoado Poço da Areia- Santana do Ipanema          |                       |  |        |        |        |
| 2147   |   | Água de Poço-Povoado Jurema -Dois Riachos                       |                       |  |        |        |        |
| <b>RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS</b>   |   |   |                       |  |        |        |        |
| Parâmetros analíticos  | Padrões Especificados De Potabilidade Portaria nº 518/2004, Ministério da Saúde | Métodos   | Resultados / Amostras |  |        |        |        |
|  |   |   | 2143                  | 2144   | 2145   | 2146   | 2147   |
| Amônia   | Até 1,5 mg/L NH <sub>3</sub>  | SMEWW 4500 NB   | 0,01                  | < 0,01   | < 0,01 | 0,03   | 0,02   |
| Cloreto  | Até 250 mg/L Cl <sup>-</sup>  | SMEWW 4500 Cl <sup>-</sup> B                                    | 1793,1                | 1782,6   | 590,7  | 180,49 | 2057,2 |
| Cor  | Até 15 uH*  | SMEWW 2120 C  | 1,8                   | 0,3  | 9,6    | 11,89  | 1,8    |
| Dureza Total   | Até 500 mg/L  | SMEWW 2340 C  | 1744,2                | 1581,0   | 605,2  | 112,2  | 1652,2 |
| Nitrato  | Até 10 mg/L N   | SMEWW 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> E                       | 0,31                  | 0,22   | 0,38   | 0,20   | 0,34   |
| Nitrito  | Até 1,0 mg/L N  | SMEWW 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B                       | 0,01                  | < 0,01   | < 0,01 | 0,01   | 0,01   |
| Ferro Total  | Até 0,3 mg/L Fe   | SMEWW 3500 Fe-F   | 0,87                  | 1,44   | 1,94   | 1,32   | 0,91   |
| pH   | Entre 6,0 a 9,5   | SMEWW 4500 H <sup>+</sup> B                                     | 7,04                  | 6,91   | 7,30   | 7,17   | 7,08   |
| Sólidos Dissolvidos Totais (STD)   | Até 1000 mg/L   | SMEWW 4500 C  | 4750,0                | 4644,0   | 3973,0 | 1194,0 | 4750,0 |
| Sulfato  | Até 250 mg/L SO <sub>4</sub>  | SMEWW 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E                      | 91,55                 | 74,34  | 69,84  | 37,41  | 50,64  |
| Salinidade   | Até 0,5 ‰, águas doces; Superior a 0,5 e inferior a 30 ‰, águas salobras        | SMEWW 2520 D  | 3,6                   | 3,0  | 1,5    | 0,4    | 3,81   |
| Turbidez   | Até 5 UT  | SMEWW 2130 B  | 0,36                  | 0,89   | 11,4   | 0,58   | 3,92   |
| * Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)   |   |   |                       |  |        |        |        |
| <p>CONCLUSÃO: As análises realizadas no Laboratório Ambiental demonstram que os Resultados de Cloreto na amostra 2147, Dureza Total nas amostras 2143, 2144, 2145 e 2147, Ferro Total em todas as amostras, não atendem aos Padrões Especificados de Potabilidade da Portaria Nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, em águas destinadas ao Consumo Humano.</p> |   |   |                       |  |        |        |        |
| <p>NOTA: Métodos de análise utilizados estão descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater<sup>®</sup>- APHA - ANWA – WPCF, 20<sup>ª</sup> Edição.</p>   |   |   |                       |  |        |        |        |
| Maceió, 18 de julho de 2011.   |   |   |                       |  |        |        |        |
| <br>Edson de Castro Freitas<br>Engenheiro Químico / DILAB   |   |   |                       | <br>Regina Lúcia Pinheiro de Carvalho<br>Gerente – GLAM / DILAB |        |        |        |
| "Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos"  |   |   |                       |  |        |        |        |



casal

 COMPANHIA DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA E SANEAMENTO DO ESTADO DE ALAGOAS - CASAL  
 RUA SENADOR BERNARDO DE MENDONÇA, S/N - BEBEDOURO - FONE 241-4890/4225

N°

326

## ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA

|                  |                 |                         |          |
|------------------|-----------------|-------------------------|----------|
| PROCEDÊNCIA:     | IGACÍ - ALAGOAS |                         |          |
| LOCAL DA COLETA: | POÇO - Calvário |                         |          |
| DATA DA COLETA:  | 20.11.98        | ENTRADA NO LABORATÓRIO: | 23.11.98 |
| COLETOR:         | ROMÃO BONIFÁCIO |                         |          |
| INTERESSADO:     | D.N.O.C.S.      |                         |          |

IMPORTANTE: V.M.P. = VALOR MÁXIMO PERMITIDO (PORTARIA 36 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE - 19/01/90)

| DISCRIMINAÇÃO                  | V.M.P.    | RESULTADO | UNIDADE                            |
|--------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|
| pH                             | 6,5 - 8,5 | 7,75      | —                                  |
| Cor                            | 15,0      | 3,0       | mg/l Pt                            |
| Turbidez                       | 5,0       | 4,20      | mg/l U.N.T.                        |
| Condutância Específica         | —         | 2.700,0   | microhms/cm                        |
| Acidez                         | —         | 42,0      | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Alcalinidade OH                | —         | 0,0       | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Alcalinidade CO <sub>3</sub>   | —         | 0,0       | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Alcalinidade HCO <sub>3</sub>  | —         | 360,0     | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Dureza Total                   | 500,0     | 2.580,0   | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Dureza (Carbonatos)            | —         | 360,0     | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Dureza (n/ Carbonatos)         | —         | 2.220,0   | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Cálcio                         | —         | 480,0     | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Magnésio                       | —         | 2.100,0   | mg/l CaCO <sub>3</sub>             |
| Oxigênio Consumido             | —         | ---       | mg/l O <sub>2</sub>                |
| Cloretos                       | 250,0     | 4.100,0   | mg/l Cl <sup>-</sup>               |
| Sílica                         | —         | 10,0      | mg/l SiO <sub>2</sub>              |
| Sulfatos                       | 400,0     | 60,0      | mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| Amônia                         | —         | 3,70      | mg/l N                             |
| Nitratos                       | 10,0      | 0,20      | mg/l N                             |
| Nitritos                       | —         | 0,01      | mg/l N                             |
| Ferro Total                    | 0,3       | 0,37      | mg/l Fe                            |
| Sódio                          | —         | 740,0     | mg/l Na <sup>+</sup>               |
| Potássio                       | —         | 13,50     | mg/l K <sup>+</sup>                |
| CO <sub>2</sub> (Graficamente) | —         | 13,0      | mg/l CO <sub>2</sub>               |
| Sólidos Totais                 | 1000,0    | 8.400,0   | mg/l                               |

NOTA IMPORTANTE:  
 OS RESULTADOS SE APLICAM TÃO  
 SOMENTE A AMOSTRA TRAZIDA P/  
 INTERESSADO.

OBSERVAÇÃO:

ASSINATURA CHEFIA SEANA:

Antonio Capistrano Neto

ASSINATURA CHEFIA GECCOQ:

 Eng<sup>o</sup> Químico  
 Chefe do SETRO/GECCOQ

 Jerônimo Malta Guedes  
 Ass. Químico  
 Chefe da SEANA/GECCOQ

DATA:

18.12.98





**LABDES**  
Laboratório de Referência em Dessalinização

|  |  |
|--|--|
| Laudo N <sup>o</sup> : 49SD/2007       | Data da Coleta: 18/03/2007             |
| Interessado: Programa Água Doce        | Resp. pela Coleta: LABDES              |
| Município: Igacy - AL                  | Data da Entrega da Amostra: 21/03/2007 |
| Localidade: Santo Antônio              | Tipo de Recipiente: Garrafa Plástica   |
| Procedência: Sistema de Dessalinização | Data da Análise: 21/03/2007            |

Data da Implantação do Dessalinizador: 2006

| PARÂMETROS   | Poço            | Concentrado     | Permeado | VMP (*)   |
|--|-----------------|-----------------|----------|-----------|
| Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 °C              | 14.900,0        | 18.360,0        | 495,0    | ---       |
| Potencial Hidrogeniônico, pH                         | 6,4             | 6,7             | 5,4      | 6,5 a 8,5 |
| Turbidez, (uT)                                       | 0,2             | 0,2             | 0,1      | 1,0 a 5,0 |
| Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).                     | 5,0             | 5,0             | 5,0      | 15,0      |
| Dureza em Cálcio, mg/L Ca <sup>++</sup>              | 350,0           | 422,0           | 1,0      | ---       |
| Dureza em Magnésio, mg/L Mg <sup>++</sup>            | 765,6           | 989,4           | 0,5      | ---       |
| Dureza Total, mg/L CaCO <sub>3</sub>                 | <b>4.065,0</b>  | <b>5.177,5</b>  | 4,5      | 500,0     |
| Sódio, mg/L Na <sup>+</sup>                          | <b>2.282,1</b>  | <b>2.875,4</b>  | 74,9     | 200,0     |
| Potássio, mg/L K <sup>+</sup>                        | 108,9           | 133,9           | 3,3      | ---       |
| Ferro Total, mg/L                                    | 0,01            | 0,03            | 0,01     | 0,3       |
| Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L CaCO <sub>3</sub>   | 0,0             | 0,0             | 0,0      | ---       |
| Alcalinidade em Carbonatos, mg/L CaCO <sub>3</sub>   | 104,0           | 120,0           | 0,0      | ---       |
| Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L CaCO <sub>3</sub> | 108,0           | 122,0           | 10,8     | ---       |
| Alcalinidade Total, mg/L CaCO <sub>3</sub>           | 212,0           | 242,0           | 10,8     | ---       |
| Sulfato, mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>           | 189,4           | <b>280,3</b>    | 0,9      | 250,0     |
| Cloreto, mg/L Cl <sup>-</sup>                        | <b>5.964,0</b>  | <b>7.536,7</b>  | 116,4    | 250,0     |
| Nitrato, mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>           | 0,04            | 0,09            | 0,00     | 10,0      |
| Nitrito, mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>           | 0,02            | 0,01            | 0,01     | 1,0       |
| Sílica, mg/L SiO <sub>2</sub>                        | 51,0            | 66,0            | 0,2      | ---       |
| ISL (Índice de Saturação de Langelier)               | -0,42           | 0,05            | -5,08    | ≤ 0       |
| Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180°C, mg/L     | <b>10.390,0</b> | <b>13.490,0</b> | 224,0    | 1.000,0   |

(\*)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 518/04 MS).

**LAUDO:**

De acordo com a Legislação Brasileira em vigor, os resultados analíticos das amostras de águas são os seguintes:

- (a) a água do poço e do concentrado **não** se encontram dentro dos parâmetros permissíveis de potabilidade;  
(c) a água do permeado encontra-se dentro dos padrões de potabilidade;

**OBSERVAÇÕES:**

- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 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.

Análise realizada por: Prof. Kepler B. França (CRQ – 01.303.119)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França

Data: 23/03/2007

7.5 PROJETOS DE DESSALINIZADORES SIMULADOS NO SOFTWARE ROSA 9.