



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA EM DESSALINIZAÇÃO**

Dissertação em Engenharia Química

**MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DA
COMUNIDADE DE URUÇU – PB**

RODRIGO VIEIRA ALVES

ORIENTADOR: Kepler Borges França

Campina Grande, agosto de 2013

**MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DA
COMUNIDADE DE URUÇU – PB**

RODRIGO VIEIRA ALVES



Trabalho final apresentado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Recurso Regional e Meio Ambiente.

Orientador: Kepler Borges França

Campina Grande, agosto de 2013



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

A474m Alves, Rodrigo Vieira.
Monitoramento do desempenho do sistema de dessalinização da comunidade de Uruçu-PB / Rodrigo Vieira Alves. -- 2013.
58 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro Ciências e Tecnologia.

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

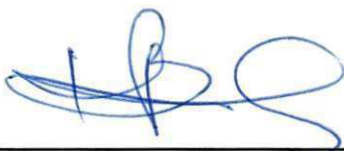
1. Semiárido. 2. Monitoramento. 3. Osmose Inversa. I. França, Kepler Borges. II. Título.

CDU 556.51(043)

**MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DA
COMUNIDADE DE URUÇU – PB**

RODRIGO VIEIRA ALVES

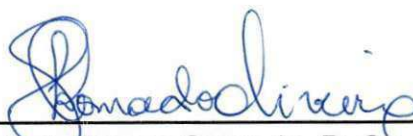
Dissertação avaliada em: 13 / 08 / 2013



Prof. Kepler Borges França, Ph. D.
(Orientador)



Prof. Hélio de Lucena Lira, D. Sc.



Profa. Líbia de Souza Conrado, D. Sc.

Campina Grande, agosto de 2013.

Dedico esta dissertação aos meus pais, Maria do Socorro e Luiz Alves (in memoriam) que com muito orgulho estou repetindo os padrões familiares recebidos através deles.

Minhas vitórias e conquistas só existem graças à confiança e educação depositadas em mim, por eles.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por guiar meus passos ajudando a vencer as dificuldades, conseguir discernir as vitórias e diferenciar o certo do errado.

Aos meus pais Luiz Alves de Souza (*in memoriam*), Maria do Socorro Vieira de Sousa Alves e meu irmão Ricardo Vieira Alves, simplesmente por tudo.

Ao Professor Kepler Borges França (Ph.D) pela dedicação e competente orientação que fizeram com que seus conhecimentos enriquecessem este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Campina Grande – PB, juntamente com todos os docentes que me ajudaram no crescimento profissional.

A minha futura esposa, Sonáli Amaral de Lima, que me mostrou que a vida não somente é feita de materiais sólidos, e sim de momentos que podemos desfrutar hoje, sem deixarmos de aprender com os erros e viver cada momento que está se passando.

A todos os professores, amigos e colegas do Laboratório de Referência em Dessalinização pela oportunidade, confiança para realização deste trabalho, apoio e dedicação nos ensinamentos.

"Viver é acalentar sonhos e esperanças, fazendo da fé a nossa inspiração maior. É buscar nas pequenas coisas, um grande motivo para ser feliz!"

(Mário Quintana)

RESUMO

A dessalinização vem sendo uma das alternativas de abastecimento de água potável para beneficiar as comunidades difusas nas regiões do Semiárido do Nordeste brasileiro. Todavia, é necessário monitorar o sistema de membranas. Esse trabalho tem como objetivo, monitorar o dessalinizador da Comunidade de Uruçu - PB, em termos de variáveis de medidas, análises físico-químicas e microbiológicas. O monitoramento do sistema foi realizado durante o período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012. A manutenção do monitoramento foi feita com base em limpezas químicas no sistema, o momento para essa manutenção foi indicado pela análise das pressões, vazões, rendimentos, concentração de sais e presença de microrganismos. A água do poço que alimenta o sistema de membranas possui em média 1.842,1 mg/L de sais dissolvidos provenientes de rochas cristalinas, sendo esta, uma característica predominante no aquífero semiárido que resultou em índices de saturação de Langelier acima de zero. O índice de densidade e sedimentos foi um grande indicador para a manutenção e troca dos filtros do sistema.

Palavras-chave: Semiárido, Monitoramento, Osmose inversa.

ABSTRACT

Desalination has been one of the supply of drinking water alternatives to benefit the communities diffused in the semiarid regions of Northeast Brazilian. However, monitoring the membrane system is necessary. This work aims monitoring the desalter of Uruçu Community - PB, in terms of measured variables, analysis physical-chemical and microbiological. The system monitoring was realized during the period of August 2011 to February 2012. The maintenance monitoring was based on the chemical cleaning system, the time for that maintenance has been indicated by analysis of pressures, flow rates, yields, the salt concentration and the presence of microorganisms. The well water that feeds the membranes system possesses 1.842,1 mg/L of dissolved crystal rock salts, which is a prominent feature into the semi-arid aquifer, resulting in Langelier saturation index above zero. The silt and density index and was a major indicator for maintenance and replacement of the system's filters.

Keywords: Semiarid, monitoring, reverse osmosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Osmose, equilíbrio osmótico e osmose inversa	16
Figura 2 -	Módulos de membrana em espiral aberto	18
Figura 3 -	Equipamento básico para medida do SDI	24
Figura 4-	Vista aérea da Comunidade de Uruçu.....	26
Figura 5 -	Representação do monitoramento feito no dessalinizador	27
Figura 6 -	Sistema de membranas da Comunidade de Uruçu	28
Figura 7 -	Coleta de amostra no permeado	30
Figura 8 -	Coleta de amostra na alimentação	30
Figura 9 -	Coleta de amostra no concentrado.....	30
Figura 10 -	Sólidos totais dissolvidos presentes na água permeada	32
Figura 11 -	Limpeza química com NaOH.....	34
Figura 12 -	Limpeza química com HCl.....	34
Figura 13 -	Recuperação do sistema de membranas	36
Figura 14 -	Efeito da limpeza química na vazão do permeado	36
Figura 15 -	Variação das pressões de operação do sistema	37
Figura 16 -	Variação do SDI em função do tempo. Período 2011-2012.....	38
Figura 17 -	Troca de filtros.....	40
Figura 18 -	Filtro usado e filtro novo.	40
Figura 19 -	Variação do ISL na corrente de alimentação, do concentrado e após o tratamento químico com ácido clorídrico.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.0 - Porosidade de membranas e pressões de operação usuais.....	15
Tabela 2.0 - Incrustações e respectivos reagentes utilizados para sua limpeza .	25
Tabela 3.0 - Programa de visitas técnicas à Comunidade de Uruçu	29
Tabela 4.0 – Monitoramento das análises microbiológicas do permeado	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SDI	Índice de densidade e sedimentos
ISL	Índice de saturação de langelier
LABDES	Laboratório de Referência em Dessalinização
MF	Microfiltração
NF	Nanofiltração
OI	osmose inversa
PSM	Processo de Separação com Membranas
P1	Pressão de entrada das membranas
P2	Pressão de saída das membranas
Q1	Vazão no permeado
Q2	Vazão no concentrado
STD	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	11
1.0INTRODUÇÃO	11
1.0 Objetivo Geral	13
1.1Objetivos Especificos	13
CAPÍTULO II	14
2.0 Revisão Bibliográfica	14
2.1 Características da Comunidade de Uruçu.....	14
2.1.1 Climatologia	14
2.1.2 População.....	14
2.1.3 Economia.....	15
2.2 Processos de Separação por Membranas.....	15
2.3 Osmose Inversa.....	16
2.4 Módulos em espiral	17
2.5 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água.....	18
2.6 Recuperação	19
2.7 Taxa de rejeição de sais.....	20
2.8 Incrustações e Pré- tratamento	20
2.9 Indicadores.....	21
2.9.1 Índice de saturação de Langelier	21
2.9.2 Índice de Densidade de Sedimentos.....	22
3.0 Processo de limpeza química dos elementos de membrana.....	24
CAPÍTULO III	26
3.0 Materiais e Métodos	26
3.1 Localização da Comunidade de Uruçu	26
3.2 Características do Sistema de dessalinização da Comunidade de Uruçu.....	28
3.3 Programa de visitas e coletas de amostras	29
CAPÍTULO IV	32
Resultados e discussão.....	32
4.1 Monitoramento e manutenção através de análises físico-químicas	32
4.2 Análise Bacteriológica	33
4.3 Limpeza química do sistema de membranas	34
4.3 Recuperação e vazões do sistema.....	35
4.4 Pressões de entrada e saída do sistema.....	37
4.5 Índice de densidades e sedimentos.....	38
4.6 Índice de saturação de Langelier	40
CONCLUSÕES	42
ANEXO A –Reagentes e equipamentos utilizados para realizar as análises.....	48
ANEXO B–Análises físico-químicas do Sistema de Dessalinização da Comunidade de Uruçu – PB.....	51
ANEXO C – Análises microbiológicas da alimentação e do concentrado.....	55

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUÇÃO

Os processos de separação por membranas (PSM) são tecnologias novas quando comparados aos processos mais utilizados como destilação, extração, absorção e outros. O uso desses métodos de separação está crescendo cada vez mais dentro das indústrias por apresentarem muitas vantagens em relação aos métodos convencionais: gastam menos energia, geram menos efluentes, ocupam menos espaço físico e são fáceis de operar. Por isso, alguns PSM têm seu uso industrial já consagrado, como é o caso da microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. Nos últimos 30 anos, tais processos têm sido extensamente adotados por diferentes indústrias. O uso em larga escala de separação por membranas tem substituído os processos de separação convencionais (OLIVEIRA, 2007).

A formação de incrustação aumenta os custos operacionais, pois gera uma maior demanda de energia (pelo aumento da pressão de operação), diminui os intervalos entre as limpezas químicas e reduz significativamente o tempo de vida útil das membranas. A ocorrência de incrustação é, praticamente, inevitável, mas pode ser minimizada pela escolha dos pré-tratamentos adequados, pelo correto dimensionamento da planta e pela melhor seleção das condições de operação do sistema de osmose inversa (OI), (OLIVEIRA, 2007). A polarização de concentração pode dar origem a alguns tipos de fenômenos que prejudicam o desempenho da membrana. Ao conjunto desse fenômeno dá-se o nome de incrustações (*fouling*), que compreendem, entre outros processos, a adsorção de moléculas do soluto na superfície da membrana, o entupimento dos poros da membrana por partículas em suspensão e o depósito superficial de matérias em suspensão.

A microfiltração (MF) vem sendo estudada e utilizada como um tipo de pré-tratamento da (OI), segundo BYRNE, (2002), a utilização da MF como pré-tratamento remove sólidos suspensos e contaminantes biológicos. Como a MF não rejeita sais dissolvidos, trabalha com baixas pressões, assim não consome muita energia e podem obter elevados graus de recuperação, em torno de 95%.

O processo de OI oferece benefícios para comunidades difusas em regiões secas de todo o mundo, em especial a região nordeste do Brasil, precisamente no semiárido devido a escassez de águas superficiais, obrigando a humanidade a explorar novas fontes para sua sobrevivência. Entre as soluções, os métodos de dessalinização de águas salobras surgiram com o objetivo de remover os sais da água, tornando-a potável com propósitos domésticos e municipais. Entre os processos de dessalinização disponíveis, a osmose inversa tem tido uma grande aplicabilidade.

O Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES da Universidade Federal de Campina Grande vem trabalhando com sistemas de dessalinização desde a década de 90, realizando monitoramento dos sistemas já implantados através de programas federais.

Por se tratar de dessalinizadores implantados em comunidades rurais este trabalho tem o objetivo de monitorar o desempenho do sistema e estabelecer um programa de prevenção para evitar o aumento das concentrações de sais dissolvidos na água, sendo útil para todo sistema de dessalinização.

1.0 Objetivo Geral

- O presente trabalho tem como objetivo monitorar o desempenho do sistema de dessalinização via osmose inversa da Comunidade de Uruçu – PB a partir das variáveis de medidas.

1.1 Objetivos Específicos

- A partir das análises físico-químicas e microbiológicas, estudar o momento ideal para a manutenção do sistema;
- Estudar o comportamento operacional do sistema (pressão, vazão e rendimento) para fins de limpezas químicas;
- Avaliar o índice de densidade de sedimentos (SDI) em diferentes pontos como um indicador de pré-tratamento do sistema de dessalinização;
- Avaliar o Índice de saturação de Langelier (ISL) nas correntes de alimentação, concentrado e permeado, como indicador de depósito de sais na superfície das membranas.

CAPÍTULO II

2.0 Revisão Bibliográfica

Neste Capítulo será realizada uma revisão da literatura para dar base aos assuntos pesquisados na dissertação. Serão abordados os processos de separação por membranas como um todo. Em seguida descreve-se o processo de (OI). Serão descritas, também, as principais limitações do processo de (OI), como a formação de incrustações devido à polarização de concentração.

Como o tema principal deste trabalho é o desempenho do dessalinizador, foi dada ênfase nos principais processos que levam a formação de incrustação e os seus efeitos adversos e o índice de densidade de sedimentos (SDI) que são objetos de estudo deste trabalho bem como as análises físico-químicas e bacteriológicas.

Primeiramente será visto as características da comunidade de Uruçu: climatologia, população e economia.

2.1 Características da Comunidade de Uruçu

2.1.1 Climatologia

A Comunidade de Uruçu apresenta clima classificado como semiárido com temperaturas médias anuais entre 26°C e 29°C com evapotranspiração em torno de 2000 mm/ano. O potencial hídrico da área limita-se a uma precipitação no limite de 500 mm/ano para anos considerados normais e podendo chegar à precipitações de 100 mm/ano para os anos de seca. O lençol freático está embasado em rochas cristalinas, portanto, com baixas possibilidades de prospectar poços com vazão adequada (LIRA, 2012).

2.1.2 População

A localidade conta com aproximadamente 80 famílias que vivem em pequenas propriedades. A área que compõe Uruçu é formada por três localidades distintas, nomeadas de Várzea Grande, Uruçu de Cima e Uruçu (LIRA, 2012).

2.1.3 Economia

A economia de Uruçu está baseada na exploração da terra para produção agrícola voltada para a subsistência, com ênfase ao cultivo de milho, feijão e palma, além da dedicação a caprinocultura e a ovinocultura. A economia atravessa várias oscilações tendo em vista que a agricultura local é prejudicada em decorrência da falta de chuvas e, conseqüentemente, as plantações ficam sem condições de serem colhidas devido à estiagem(LIRA, 2012).

2.2 Processos de Separação por Membranas

Existem muitos processos de separação por membranas (PSM) baseadas em diferentes princípios de separação ou mecanismos. VARGAS, 2003, comenta a definição de filtração como a separação entre dois ou mais componentes de uma corrente fluida, onde estes componentes são partículas sólidas. Os PSM ampliam esta definição de filtração convencional para separações onde os solutos estão dissolvidos na corrente líquida e para separação de misturas gasosas.

Os processos de separação por membranas como transporte de uma dada espécie, ocorrem devido à existência de uma força motriz. Nos processos de separação com membranas como microfiltração (MF), ultrafiltração, (UF), nanofiltração (NF), e osmose inversa (OI) a força motriz é o gradiente de pressão, (QUEIROZ, 2012).A Tabela 1 mostra essas pressões juntamente com as porosidades para cada tipo de membrana.

Tabela 1 – Porosidade de membranas e pressões de operação usuais.

Membrana	Porosidade	Pressão (kgf/cm²)
Microfiltração	0,05µm – 5,0µm	<2,00
Ultrafiltração	3,0nm – 50,0nm	2,00 – 10,00
Nanofiltração	1,0nm – 4,0nm	5,00 – 41,00
Osmose Inversa	0,1nm – 1,0nm	8,00 – 204,00

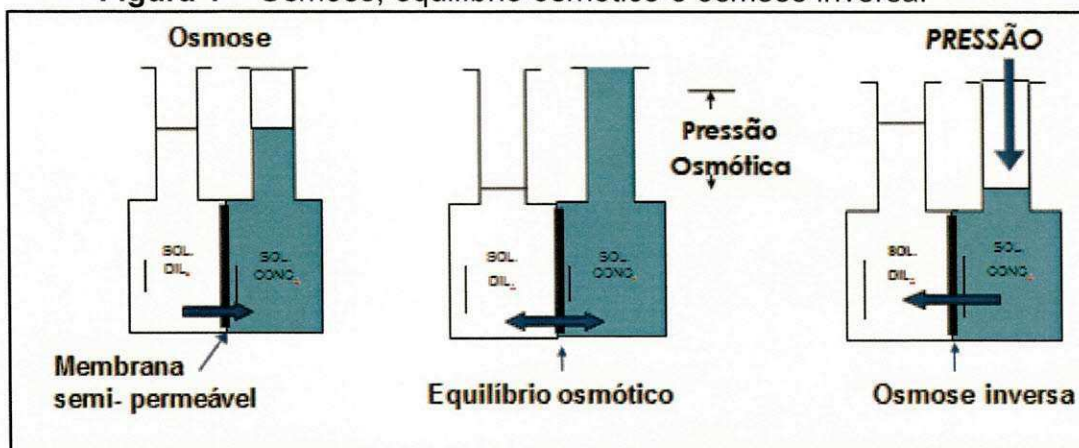
Fonte:HABERTet al., 2006.

2.3 Osmose Inversa

O fenômeno da osmose é observado quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana permeável ao solvente e praticamente impermeável ao soluto. O solvente permeia a membrana no sentido do meio mais diluído para o meio mais concentrado até atingir-se o equilíbrio termodinâmico, representado pela igualdade dos potenciais químicos de cada componente em cada fase. Nesta condição, a diferença de pressão hidráulica é equivalente à diferença de concentração, mantendo-se um equilíbrio dinâmico para o transporte do solvente através da membrana (HABERT et al., 2006).

A Figura 1 mostra o fenômeno da osmose natural, o equilíbrio termodinâmico e a osmose inversa.

Figura 1 – Osmose, equilíbrio osmótico e osmose inversa.



Fonte: HABERT et al., 2006

A osmose inversa 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, como mostra a Figura 1.

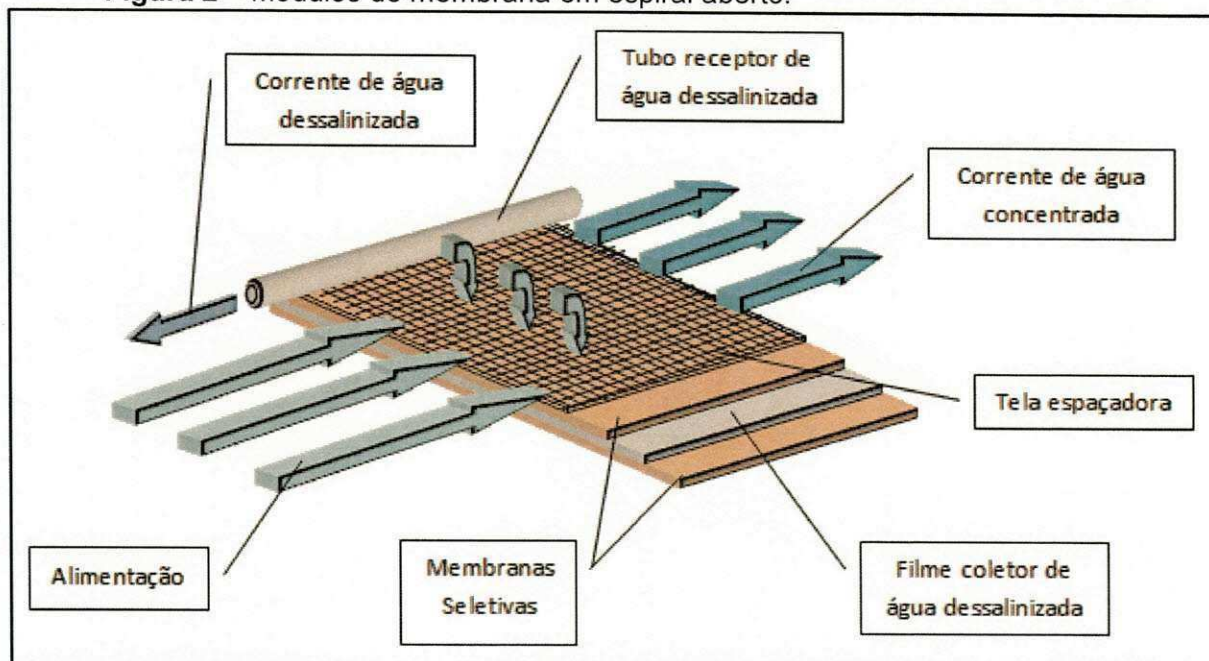
A OI vem se tornando uma tecnologia com bastante penetração no setor industrial e de tratamento de água, cuja aplicação mais comum envolve simplesmente a remoção de contaminantes de água. Seu principal campo de aplicação é a dessalinização de águas salobras e em poços artesianos nas regiões

áridas. Este processo é também aplicado em larga escala na produção de água ultrapura nas indústrias eletrônicas, nos hospitais e indústrias farmacêuticas. (OLIVEIRA, 2007).

2.4 Módulos em espiral

O módulo espiral é o mais utilizado em aplicações que demandam altas e intermediárias pressões, ou seja, NF e OI. Cada elemento consiste de um pacote de membranas e espaçadores enrolados em volta de um tubo coletor de permeado central, mostrado na Figura 2. Os canais de alimentação são delimitados por membranas dos dois lados, sendo que o canal de concentrado é mantido aberto por espaçadores do formato de telas. A superfície oposta das folhas de membrana onde fica localizada a estrutura porosa de suporte e por onde escorre o permeado, é colocado em contato com um segundo espaçador formado por um tecido fino poroso, cuja função é manter aberto o canal de água filtrada. Este canal é vedado em três lados por linhas de cola. O lado aberto é inserido dentro do tubo coletor localizado no interior do elemento. Os canais de água bruta permanecem abertos nas laterais do cilindro formado pelas membranas e permitem o livre acesso da água de alimentação, que percorre o módulo em direção paralela ao tubo coletor. O módulo completo é envolto por uma manta para estabilizar o rolo de membranas e delimitado nas duas extremidades por discos de proteção antitelescópica e a função deles é evitar que diferenciais de pressão nos canais de alimentação causem o deslocamento longitudinal de pacotes de membranas (CARTAXO, 2008).

Figura 2 – Módulos de membrana em espiral aberto.



Fonte: SILVA, 2008.

2.5 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água

O conceito de qualidade da água relaciona-se a seu uso e características por elas apresentadas, determinadas pelas substâncias presentes. A cada uso corresponde uma quantidade e qualidade, necessárias e suficientes. Seu padrão de potabilidade é composto por um conjunto de parâmetros que lhe confere qualidade própria para consumo humano (FERREIRA, 2008).

Água potável é definida pela Portaria de potabilidade da água 2914/11 do Ministério da Saúde como água para consumo humano cujos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos atendam ao padrão e não ofereça riscos a saúde, os mesmos podem ser identificados em laboratórios de análises da água e são: Cor, Turbidez, pH, Alcalinidade, Dureza, Ferro, Alumínio, Cloreto, Sulfato, Nitrato, Nitrito, Sódio, Amônia, Sólidos Dissolvidos e organismos indicadores de contaminação.

As características biológicas das águas naturais referem-se aos diversos microrganismos que habitam o ambiente aquático a exemplo do *E. coli*, uma bactéria de origem exclusivamente fecal. Sua relevância manifesta-se na possibilidade de transmitir doenças e na transformação da matéria orgânica dentro dos ciclos

biogeoquímicos de diversos elementos. Sendo possível ser transmitidas enfermidades por ingestão ou contato com a água contaminada (PESSOA, 2010).

2.6 Recuperação

A recuperação do sistema refere-se à percentagem da água de alimentação convertida em água permeada e depende de vários fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão osmótica e a qualidade da água de alimentação do sistema (MONTEIRO, 2009).

A recuperação de um sistema pode ser definida de acordo com a Equação 1.

$$r(\%) = \frac{Q_p}{Q_a} \times 100 = \frac{Q_p}{Q_p + Q_c} \times 100 \quad (1)$$

onde:

- r: recuperação do sistema (%)
- Q_p : vazão do permeado (m^3/h)
- Q_a : vazão da alimentação (m^3/h)
- Q_c : vazão do concentrado (m^3/h)

A recuperação máxima de qualquer sistema 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 da 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 do rejeito, assim como a possibilidade de sua precipitação na superfície da membrana (MONTEIRO, 2009).

2.7 Taxa de rejeição de sais

A taxa de rejeição de sais (TRS) fornece a capacidade da membrana de rejeitar os sais dissolvidos durante a permeação da água (SILVEIRA, 1999) e pode ser definida como:

$$\text{TRS}(\%) = \frac{c_a - c_p}{c_a} * 100 = \left(1 - \frac{c_p}{c_a}\right) * 100 \quad (2)$$

onde:

TRS: taxa de rejeição de sais (%);

C_a : é a concentração de alimentação (mg/L);

C_p : é a concentração do permeado (mg/L).

2.8 Incrustações e Pré- tratamento

A polarização de concentração é um fenômeno inerente a todo PSM. Toda vez que os componentes de uma solução permeiam seletivamente através de uma membrana, ocorre um aumento de concentração do soluto com menor permeabilidade na interface membrana/solução. Na condição de regime estabelecido, o arraste por convecção dos solutos em direção a superfície da membrana é igual ao fluxo difusivo destes para o seio da solução. Entre as principais consequências do aumento de concentração dos solutos próximo à superfície da membrana, está o aumento da pressão osmótica da solução, o que diminui a força motriz e o fluxo do solvente. A maior concentração de soluto também favorece seu transporte através da membrana, contribuindo para redução da seletividade do processo (VARGAS, 2006).

Em um sistema de OI é comum observar uma queda contínua no fluxo de permeado, indicando que outros fatores além da polarização de concentração, devem estar presentes. Em alguns casos, o fluxo de permeado fica tão reduzido que inviabiliza a operação. Essas alterações, em geral, são relacionadas à formação de incrustações na superfície da membrana (*fouling*) (OLIVEIRA, 2007).

As incrustações podem ser entendidas como todo o material em suspensão na água e que se deposita na superfície da membrana. Podem ser classificados por quatro categorias: depósitos inorgânicos (*scaling*), colóides (*fouling* coloidal), sólidos em suspensão e material biológico (*biofouling*) (NETO, 2012).

O pré-tratamento tem o papel de evitar incrustações de micropoluentes e de substâncias de ordem orgânica e inorgânica nas superfícies das membranas. O tipo de pré-tratamento a ser utilizado irá depender da qualidade da água de alimentação, e esta é definida em termos de concentração de partículas suspensas e níveis de saturação de sais dispersos no meio (CARTAXO, 2008).

A sílica pode se apresentar com várias formas na água, são elas: sílica dissolvida e reativa, sílica dissolvida e não reativa (coloidal) e a sílica não dissolvida (particulada) (NING, 2003). Os dois primeiros tipos de sílicas são prejudiciais às membranas, onde requer um pré-tratamento químico diferenciado e mais rigoroso.

Elevadas concentrações podem incrustar rapidamente as membranas com depósitos insolúveis. Segundo LISITSINETAL, (2005), a concentração de sílica na ordem de 10 mg/L na água de alimentação do sistema, na prática, já é um nível de concentração sujeito a formação de incrustações.

2.9 Indicadores

Há dois parâmetros que devem ser medidos, monitorados ou controlados, porque eles influenciam diretamente o desempenho da OI. Um parâmetro é o índice de Saturação de Langelier (ISL). O segundo parâmetro é o índice de Densidade de Sedimentos (SDI), (ALVES, 2012).

2.9.1 Índice de saturação de Langelier

O Índice de saturação de Langelier (ISL) é um valor numérico usado para prever a estabilidade do carbonato de cálcio da água, isto é, se a água fica em equilíbrio com o carbonato de cálcio ou não. Langelier desenvolveu um método a partir do pH, o qual a água se encontra saturada em carbonato de cálcio. O ISL é

definido pela diferença entre o pH da água e o pH de saturação (pH_s). Para calcular o ISL é necessário saber a alcalinidade total, a dureza em cálcio ambas expressas em mg/L de CaCO₃, sólidos totais dissolvidos (STD) e a temperatura da água conforme a Equação 3.

$$ISL = pH - pH_s \quad (3)$$

Onde:

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

$$A = \frac{(\log[STD] - 1)}{10}$$

$$B = -13,12 \cdot \log[^\circ C + 273] + 34,55$$

$$C = \log[Ca^{2+} \text{ como } CaCO_3] - 0,4$$

$$D = \log[Alcalinidade \text{ como } CaCO_3]$$

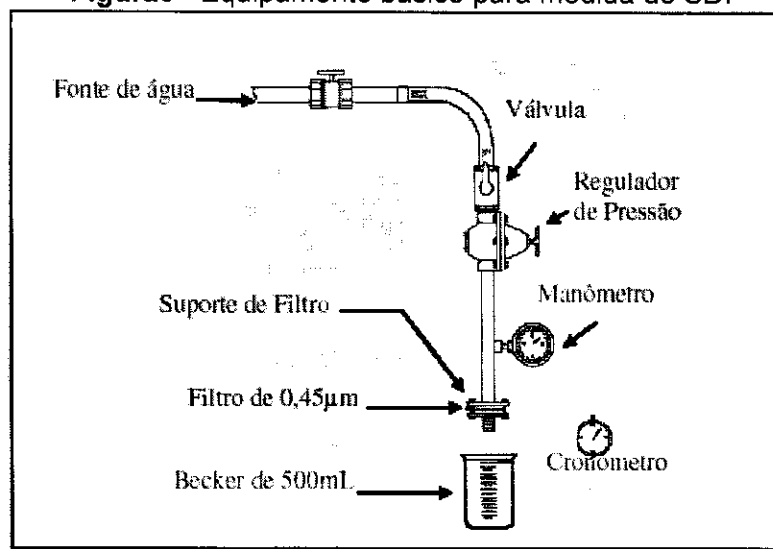
Neste caso, A é um fator que depende da concentração total de sólidos dissolvidos, B depende da temperatura, o fator C depende da concentração de cálcio e D é um fator que depende da alcalinidade. O ISL é utilizado para soluções com concentrações de sais mais baixas, soluções de até 10.000 mg/L de sais dissolvidos. Para valores de ISL iguais a zero, não haverá potencial de precipitação do carbonato de cálcio (FRANÇA, 2006).

2.9.2 Índice de Densidade de Sedimentos

A tendência de bloqueio das membranas pode ser avaliada em testes específicos ou através de análises físico-químicas. O Índice de Densidade de Sedimentos (SDI) é um dos testes mais utilizado (SILVA, 2009).

O equipamento básico, conforme mostra a Figura 3, consiste de um sistema de filtração frontal.

Figura3– Equipamento básico para medida do SDI



Fonte: SILVA, 2009.

O equipamento é composto por: suporte para filtro de 0,45 µm, válvulas de regular as pressões, manômetro e mangueiras.

Valores próximos a 1,0 são medidas de um SDI com pouca matéria particulada na água, enquanto SDI igual ou maior do que 5,0 implicam dizer que o pré-tratamento físico não comporta toda a demanda exigida para que o dessalinizador funcione de forma correta. E valores médios próximos a três indica uma faixa aceitável para medidas de SDI (FILMTEC, 2007). O SDI é determinado através da Equação 4 (SILVA, 2009).

$$SDI = \frac{100 \left[1 - \left(\frac{T_i}{T_f} \right) \right]}{T_t} \quad (4)$$

O SDI 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 de tempo (T_i) varia de 5, 10 ou 15 minutos, o qual é intervalo de tempo entre o término da coleta dos primeiros 500 mL de permeado e o início da coleta dos segundos 500 mL de permeado. O terceiro intervalo de tempo (T_i) é o tempo necessário para a coleta dos últimos 500 mL de permeado. O tempo padrão para o (T_i) é 15 minutos.

A determinação do SDI é essencial em todos os projetos de membranas, mas assume importância especial em sistemas de NF e OI. Águas com índices excessivos de incrustação 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 (ALVES, 2012).

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

3.0 Processo de limpeza química dos elementos de membrana

Os procedimentos de manutenção de sistemas que utilizam membranas como processo de separação, são indispensáveis, mesmo que as águas da alimentação e do concentrado, não apresentem potencial de incrustação.

Essa necessidade se faz devido ao potencial de crescimento biológico que pode ocorrer nas superfícies das membranas ou até mesmo o acúmulo de depósitos inorgânicos que podem se manter fortemente aderidos aos elementos de membrana com o tempo.

A eficácia do processo de limpeza química tem como fonte principal de informação, as características físico-químicas da água de alimentação do sistema. Através dela, pode-se aplicar uma solução preparada adequadamente para os tipos de "fouling" potencialmente depositados. Outro fator importante é o tipo de membrana na qual se aplicará a solução. Os fabricantes de membranas indicam as características e propriedades dos seus produtos bem como sua fragilidade em determinadas faixas de pH (SILVA, 2008).

A aplicação de uma limpeza química, com características diferentes das indicadas pelos fabricantes, pode trazer danos irreparáveis aos elementos de membranas.

Existe no mercado, uma série de reagentes químicos especialmente formulados para eliminar mais que um tipo de incrustação em membranas de filme fino (Scott, 1999). Quando o fabricante não indica um tipo específico de produto comercial para a limpeza das membranas, outros reagentes podem ser aplicados (em solução) para cada tipo de incrustação. Os mais utilizados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 2 -Incrustações e respectivos reagentes utilizados para sua limpeza.

Agentes	Incrustantes
Ácido Cítrico	Hidróxido férrico
Ácido Clorídrico	Depósitos de cálcio
Ácido Fosfórico	CaCO ₃ , Bário
Bifluoreto de amônio	Óxidos metálicos
Hidrosulfito de sódio	CaSO ₄ ; SrSO ₄
Hidróxido de sódio	Sílica; orgânicos; Al(OH) ₃

Fonte: Scott (1999); Judd e Jefferson (2003); Watson *et al* (2003); Singh (2006).

CAPÍTULO III

3.0 Materiais e Métodos

Este capítulo trata da descrição dos materiais, métodos e equipamentos utilizados na parte experimental deste trabalho que foi desenvolvido no LABDES- Laboratório de Referência em Dessalinização na UFCG - Universidade Federal da Paraíba e também a localização da Comunidade de Uruçu - PB

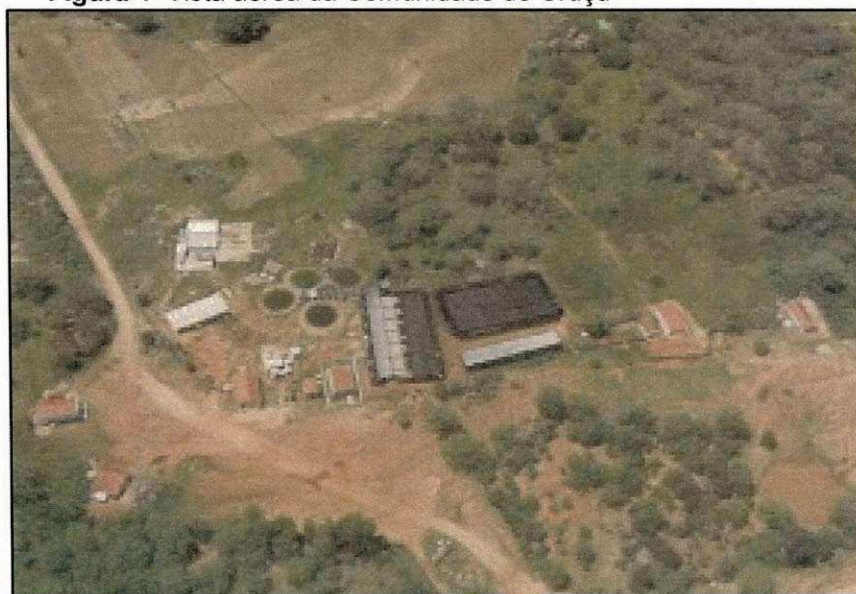
Será discutido também, sobre as visitas a Comunidade de Uruçu a título de cumprir com o programa de visitas técnicas para coletas das variáveis de medidas e coletas de amostras para análises físico-químicas e microbiológicas.

3.1 Localização da Comunidade de Uruçu

Este trabalho foi realizado na Comunidade de Uruçu – PB nos anos de 2011 e 2012, localizada há 12 Km da cidade de São João do Cariri.

A Figura 4 mostra a localização da Comunidade de Uruçu através de uma foto aérea.

Figura 4–Vista aérea da Comunidade de Uruçu



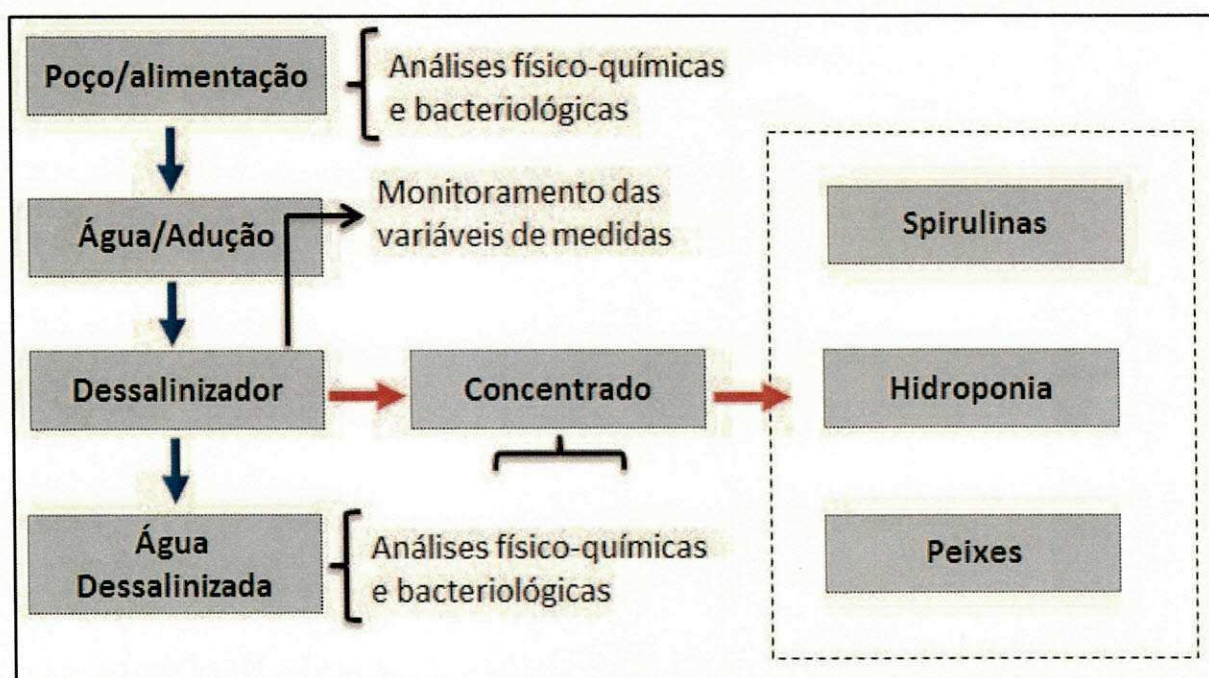
Fonte: LABDES, 2011.

O sistema de dessalinização que está localizado na comunidade de Uruçu - São João do Cariri – PB e faz parte do Projeto: *Água, Fonte de Alimento e Renda – Uma Alternativa Sustentável para o Semiárido*, implantado pelo LABDES/UFSCG e UFSC através do Programa Petrobrás Ambiental, que tem como objetivo beneficiar comunidades carentes com fontes de renda e sustentabilidade.

Pontos de monitoramento e utilização da água produzida.

A Figura 5 mostra quais pontos foram coletados e estudados para realização deste trabalho, bem como a utilização da água de Uruçu. Após receber a água de alimentação são geradas duas correntes, a do concentrado e a do permeado (água dessalinizada). A água dessalinizada fica a disposição da Comunidade por meio de um chafariz, enquanto a água concentrada é aproveitada para criação de peixes, cultivares hidropônicos e produção de spirulina.

Figura 5: Representação do monitoramento feito no dessalinizador.



Fonte: LABDES, 2012.

As amostras foram coletadas durante o funcionamento do sistema, e se limitaram a uma amostra da corrente de alimentação, uma do permeado e uma do concentrado.

3.2 Características do Sistema de dessalinização da Comunidade de Uruçu

A Figura 6 mostra o dessalinizador da Comunidade de Uruçu, objeto de estudo deste trabalho.

Figura 6: Sistema de membranas da Comunidade Uruçu.



Fonte: LABDES, 2011.

O sistema é constituído de:

- Estrutura metálica;
- Três tanques de fibra de vidro para água bruta, permeada e concentrada;
- Nove elementos de membranas de OI BW30-4040;
- Três vasos de alta pressão de fibra de vidro;
- Sistema de pré-tratamento químico para anti-incrustante, composto de uma bomba dosadora;
- Bombona de polietileno para armazenar o agente anti-incrustante;
- Bombona para auxiliar na limpeza química;

- Quatros manômetros;
- Dois rotômetros;
- Bomba de alta pressão de 3,0 CV, trifásica;
- Bomba auxiliar de 1/3 CV, monofásica;
- Bomba de retrolavagem, ½ CV, trifásica;

3.3 Programa de visitas e coletas de amostras

Foi desenvolvido um programa de coleta de amostras para análises físico-químicas e bacteriológicas, onde foram feitas visitas mensais até a Comunidade de Uruçu – PB, as amostras foram coletadas no sentido de averiguar o nível das concentrações de sais, a fim de realizar manutenções no dessalinizador de acordo com as alterações apresentadas pelo mesmo.

.A Tabela 3 mostra o programa realizado para as visitas a Comunidade de Uruçu.

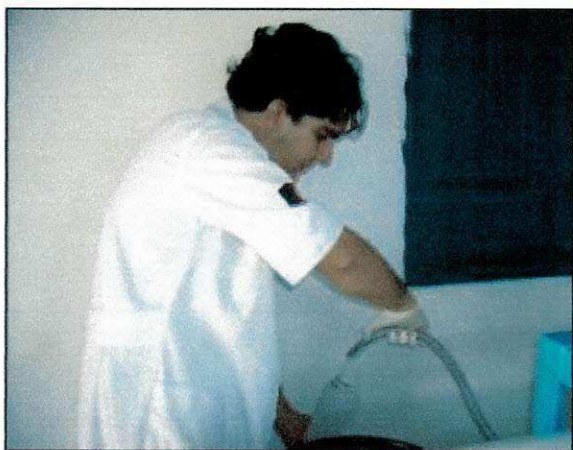
Tabela 3 – Programa de visitas técnicas à Comunidade de Uruçu entre 2011 - 2012

Programação/Meses	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Visita para coleta de amostras físico-química e microbiológica	x	x	x	x	x	x	x
Visita para realizar o teste do SDI	x	x	x	x	x	x	x
Visita para coleta das variáveis de medidas	x	x	x	x	x	x	x
Visita para troca do filtro de cartucho			x			x	
Visita para limpeza química				x	x		

As amostras de água coletadas foram encaminhadas ao LABDES para fins de procedimentos analíticos e quantificação dos constituintes presentes. As análises foram realizadas tomando como referência os métodos descritos no (APHA, AWWA, WPCF, 1998). No **ANEXO A** encontram-se os equipamentos e reagentes utilizados para as análises de água deste trabalho.

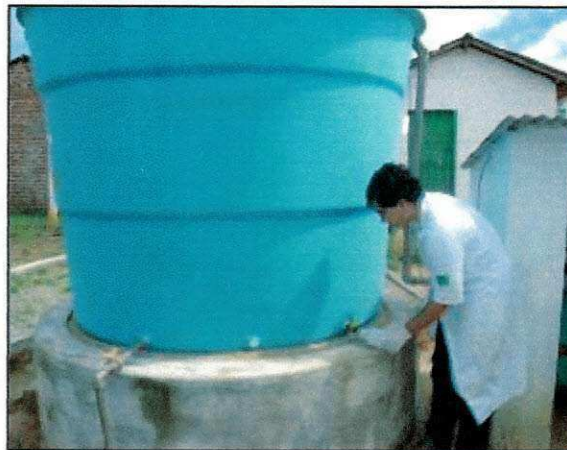
As figuras 7, 8 e 9 mostram os pontos de coleta das amostras de água do permeado, alimentação e concentrado.

Figura 7 – Coleta de amostra no permeado



Fonte: LABDES, 2012.

Figura 8 - Coleta de amostra na alimentação



Fonte: LABDES, 2012.

Figura 9 - Coleta de amostra no concentrado.



Fonte: LABDES, 2012.

As análises microbiológicas também foram realizadas no LABDES, para determinação de coliformes totais e E. coli. Para determinação de coliformes totais e Escherichia coli foi utilizada a técnica enzimática de substrato definido. A mesma baseia-se na ação de enzimas produzidas pelos coliformes, através da alteração de

cor e pelo aparecimento de fluorescência sem necessidade de testes confirmativos. Este método é específico para microrganismos alvo sendo rápido e eficaz. A quantificação foi realizada utilizando Cartela Quanti-Tray 2000 para quantificação de Coliformes totais e E. coli após incubação por 24hs a 35 °C.

CAPÍTULO IV

Resultados e discussão

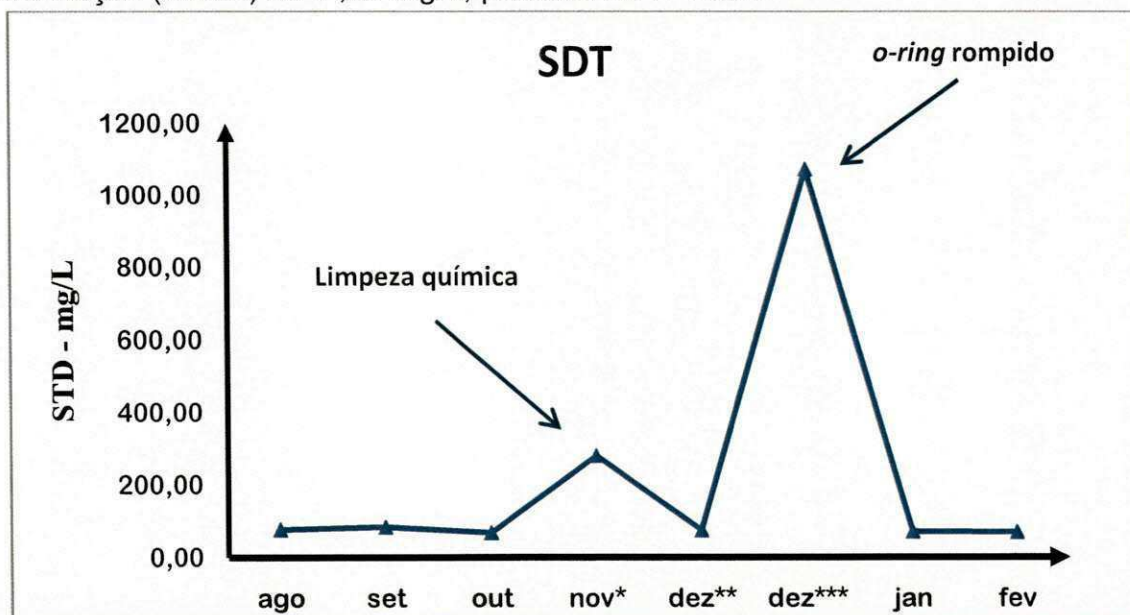
O presente Capítulo, mostra os resultados obtidos a partir do monitoramento das variáveis de medidas.

4.1 Monitoramento e manutenção através de análises físico-químicas

O monitoramento foi feito com o sistema de dessalinização em funcionamento em função dos resultados obtidos a partir das análises físico-químicas e das variáveis de medidas: pressão de operação, vazão e os índices de saturação específicos.

A Figura 10 mostra o comportamento do STD em função do tempo. Os dados desses experimentos se encontram no **ANEXO B**.

Figura 10 - Sólidos totais dissolvidos presentes na água permeada. STD de alimentação (médio) 1.842,10 mg/L, período: 2011-2012.



Fonte: LABDES, 2012.

(*) Aumento das concentrações de sais

(**) Limpeza química

(***) O-ring danificado

A Figura 10 mostra que no mês de novembro (2011) houve um aumento no STD de 67,94 mg/L para 279,70 mg/L, com base nos resultados dos meses

anteriores em agosto e setembro (2011), tal valor representa sinal de alerta para o sistema, indicando o começo de incrustação na superfície das membranas. Após a limpeza química, que ocorreu em novembro do mesmo ano, observou-se que as concentrações do STD, normalizaram em relação aos meses anteriores.

Neste caso, o procedimento da limpeza química ácida, foi realizada para eliminar os depósitos e as precipitações na superfície das membranas, entretanto, na segunda semana de Dezembro 2011 (após a limpeza química) houve um aumento considerável no STD. Observou-se que ao substituir o "o-ring", que estava rompido no vaso de alta de pressão a concentração do STD voltou para a concentração padrão do STD apresentado desde o início do projeto.

4.2 Análise Bacteriológica

A Tabela 4 apresenta os resultados do monitoramento bacteriológico, é possível observar que no mesmo período que houve o rompimento do *o-ring*, a análise microbiológica acusou presença para coliformes totais, fato que se deu devido à contaminação da corrente do concentrado com o permeado, vez que a corrente da alimentação e do concentrado há presença de coliformes totais em todos os ensaios, **ANEXOC**.

Tabela 4 – Monitoramento das análises microbiológicas na corrente do permeado.

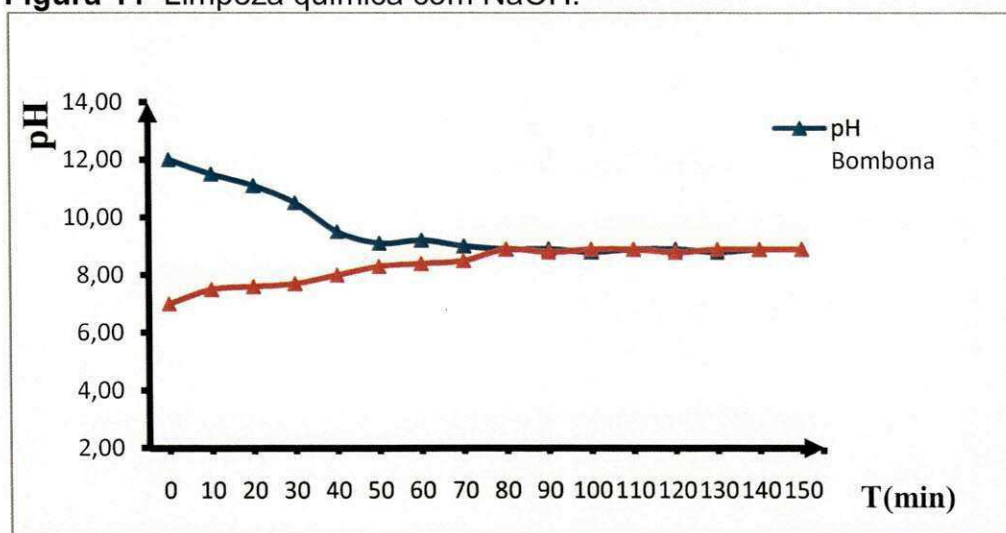
MÊS	Escherichia coli	Coliformes Totais
Agosto	Ausência	Ausência
Setembro	Ausência	Ausência
Outubro	Ausência	Ausência
Novembro	Ausência	Ausência
Dezembro	Ausência	Presença
Janeiro	Ausência	Ausência
Fevereiro	Ausência	Ausência

Fonte: LABDES, 2012.

4.3 Limpeza química do sistema de membranas

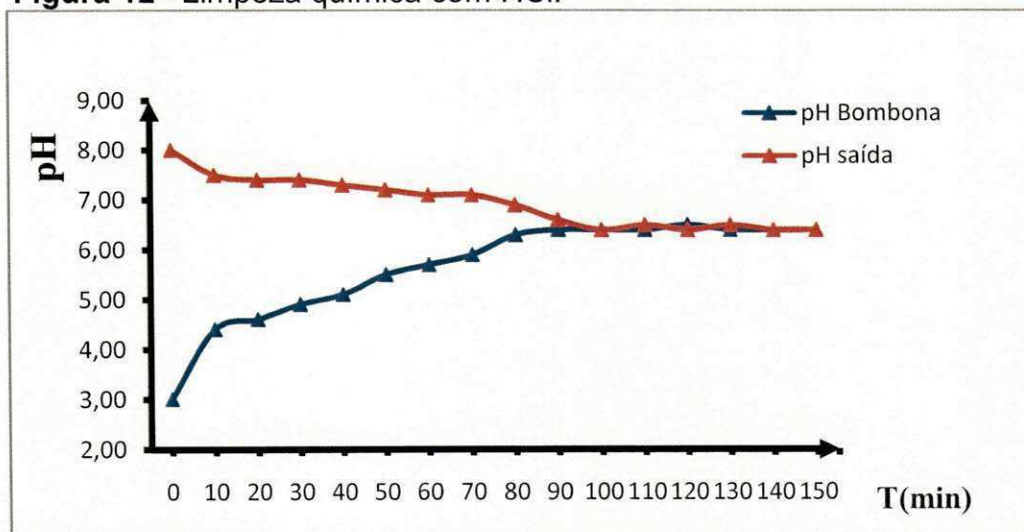
Após a contaminação na corrente do permeado se fez necessária uma limpeza química com caráter básico para evitar formações de biofilmes, bioincrustação proveniente de microrganismos. Foram realizadas duas limpezas químicas: uma alcalina e outra ácida. As Figuras 11 e 12 mostram o comportamento das limpezas.

Figura 11–Limpeza química com NaOH.



Fonte: LABDES, 2012.

Figura 12– Limpeza química com HCl.



Fonte: LABDES, 2012.

O primeiro passo na limpeza foi realizar uma pré-lavagem nas membranas utilizando água dessalinizada. Deveria ter sido realizado todo o procedimento com a solução de NaOH e depois com HCl, como a limpeza química teve um motivo específico o procedimento realizado neste trabalho foi o contrario primeiro HCl e depois NaOH, posteriormente utilizou-se o ácido para neutralizar o sistema.

O passo seguinte foi fazer com que a solução que sai do sistema retornasse para o tanque de limpeza química (bombona que contém a solução preparada), trabalhando num sistema fechado, ou seja, sem que a solução fosse descartada. Durante o período de limpeza, foi monitorado o pH da solução desáida do sistema bem como o da solução da bombona.

O tempo de estabilização da limpeza química com NaOH foi de aproximadamente 80 minutos enquanto o da limpeza química feita com HCl foi de 100 minutos, isso implica dizer que o sistema estava mais contaminado com sais inorgânicos (*scaling*) do que com material orgânico (*biofouling*).

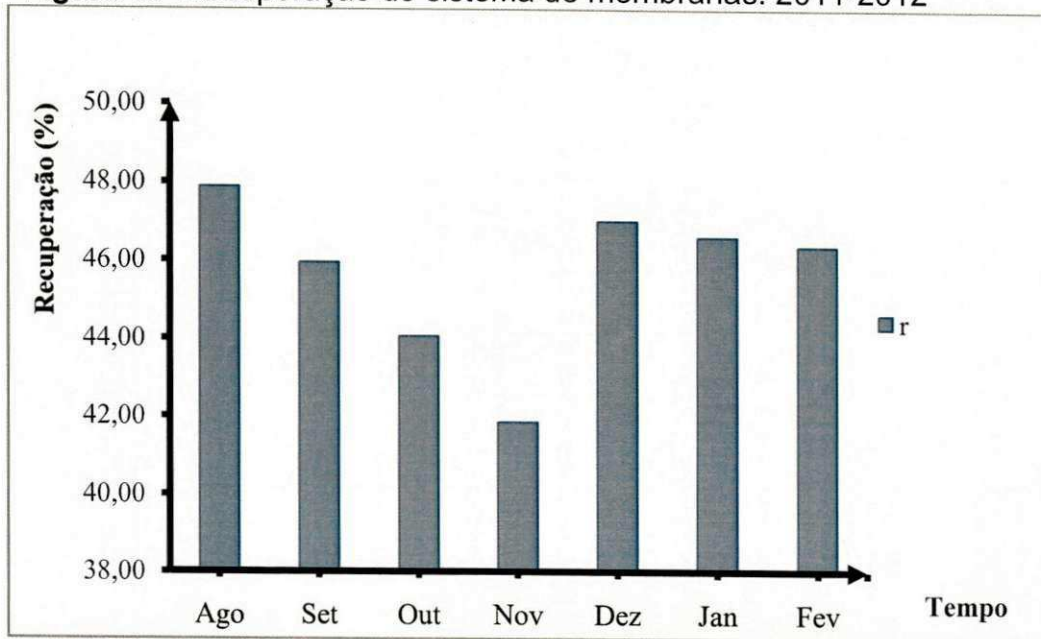
No final, a limpeza dos elementos de membranas com água dessalinizada foi mais uma vez realizada para expulsar todos os resíduos remanescentes nas membranas e deixar o pH neutro.

4.3 Recuperação e vazões do sistema

A partir do monitoramento das vazões através dos rotâmetros foi possível avaliar a recuperação do sistema, esta variável pode auxiliar o momento da manutenção, como: troca de filtros, ajuste do pré-tratamento ou aplicação de uma limpeza química dos elementos de membrana.

A Figura 13 mostra o comportamento da recuperação em função do tempo, percebe-se que no mês de Outubro e Novembro a recuperação do sistema caiu consideravelmente devido aos depósitos de sais, valores que coincidem com o aumento na análise de STD no mesmo mês, porém depois da limpeza química a variável voltou a operar de forma ideal para o sistema, com recuperação de 47%.

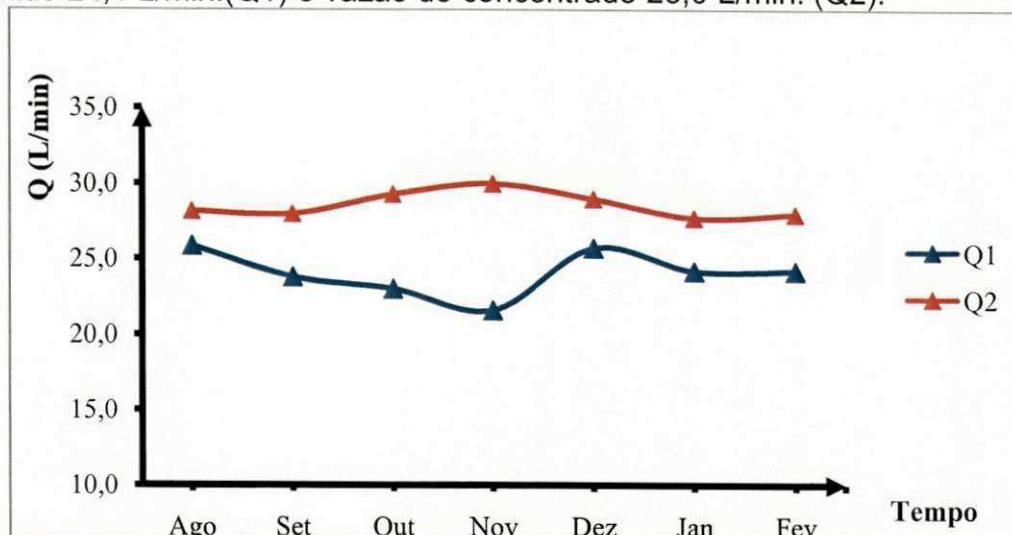
Figura 13—Recuperação do sistema de membranas. 2011-2012



Fonte: LABDES, 2012.

A Figura 14 mostra a vazão do permeado que é uma das variáveis mais prejudicada quando as membranas estão sujas com matérias inorgânicas, sua vazão média no permeado, era de 25 L/h antes da queda para 22 L/h no mês de Novembro.

Figura 14 – Efeito da limpeza química na vazão do permeado. Vazão média do permeado 24,1 L/min.(Q1) e vazão do concentrado 28,0 L/min. (Q2).



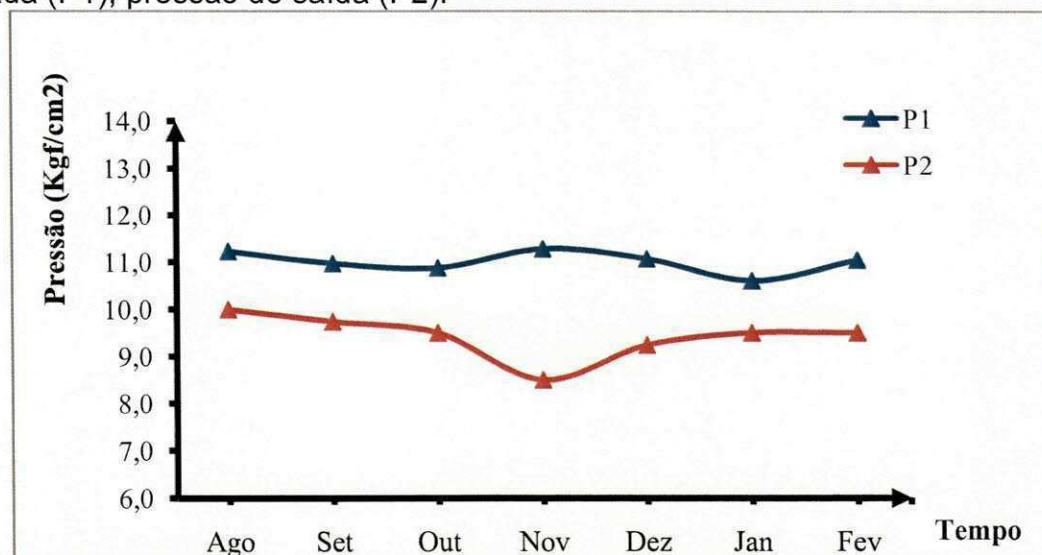
Fonte: LABDES, 2012.

A Figura 14 mostra que, com o tempo de operação do sistema, as vazões do permeado tendem a diminuir devido ao entupimento na superfície da membrana, com isso, as membranas com o tempo de utilização precisam dos cuidados da limpeza química para que seu funcionamento continue o esperado das condições iniciais do projeto.

4.4 Pressões de entrada e saída do sistema

A Figura 15 mostra o comportamento da variação das pressões de operação do sistema, ou seja, pressões de entrada e saída. Observa-se que com o tempo de operação, a pressão necessária para produzir a quantidade de água desejada, pressão de entrada, se mantém praticamente constante. Enquanto a pressão de saída, ou pressão do concentrado, diminui com o tempo de operação.

Figura 15– Variação das pressões médias de operação do sistema. Pressão de entrada (P1), pressão de saída (P2).



Fonte: LABDES, 2012.

Este comportamento se dá devido ao processo de incrustação dos elementos de membrana. O sistema aplica praticamente a mesma força por unidade de área de

membrana para dessalinizar cada vez menos água, devido à obstrução por depósitos de cristais nos poros dos elementos de membrana.

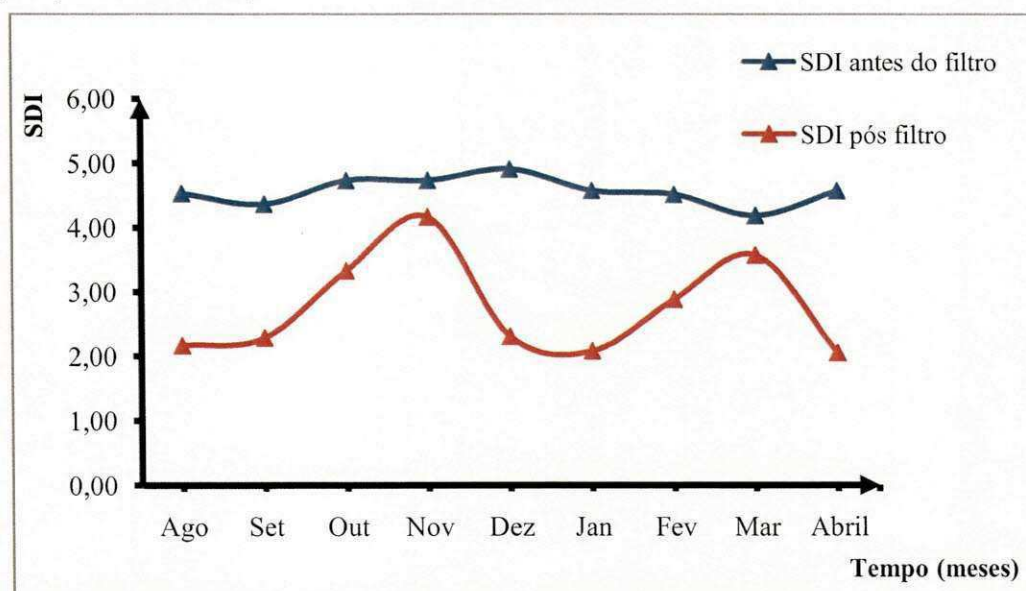
A diminuição da pressão de saída ocorre devido às perdas de carga nas superfícies das membranas. Durante o processo de dessalinização, perde-se pressão por conta da resistência do polímero que constitui as membranas. O polímero oferece resistência à passagem da água e dos sais, que é então somada à resistência causada pelos depósitos de sais nas superfícies das membranas.

A pressão média de entrada foi de $11,0 \text{ kgf/cm}^2$ enquanto a pressão média de saída chegou a um valor aproximado de $9,4 \text{ kgf/cm}^2$, representando cerca de 14% de diferença entre as pressões, indicando o momento de manutenções como a limpeza química.

4.5 Índice de densidades e sedimentos

A Figura 16 mostra o comportamento do SDI, antes e após o filtro de cartucho de 5 micra, em função das datas das visitas técnicas ao sistema de dessalinização de Uruçu. Observou-se que os valores do SDI antes do filtro se encontram em média a 4,57. No entanto, recomenda-se que esses valores estejam abaixo de 3,0 (após o filtro) para que não danifique as membranas.

Figura 16– Variação do índice de densidade de sedimentos em função do tempo. Período 2011-2012. (SDI permeado=0,57).



Fonte: LABDES, 2012.

Os valores extremos de 4,91, para o SDI antes do filtro, pode ter ocorrido devido a presença de material argiloso e particulado oriundo do poço artesiano que se acumulou no tanque de alimentação durante seu reabastecimento. O material de fundo pode ser arrastado para o sistema de dessalinização durante seu funcionamento, ocasionando em entupimentos e danos aos elementos de membrana.

Procedimentos técnicos e de limpeza dos tanques têm sido realizados para eliminar os potenciais riscos de danos ao sistema de dessalinização.

A Figura 16 também mostra o comportamento do SDI para a água de alimentação após o filtro. Observa-se que o SDI médio é de 2,76. O valor este que se encontra abaixo de (3,0) conforme sugerido pela literatura. A segurança contra possíveis depósitos nos elementos de membrana durante seu funcionamento está baseada nos valores do SDI lido após o filtro.

Os valores do SDI de 4,17 e 3,57 nos meses de novembro e março podem também ter ocorrido devido ao entupimento do filtro. Após um período de tempo de funcionamento, o filtro sujo tende a diminuir sua seletividade, deixando partículas seguirem junto à água filtrada. Para se evitar que o equipamento seja danificado devido a esse material argiloso, deve ser realizado um número maior de vistorias e limpezas nos tanque de alimentação e no filtro.

Ainda na figura 16, nota-se que após a troca de filtro de cartucho para o sistema, nos meses de novembro e março, o comportamento da passagem de partículas diminuiu, então, é necessário a troca de filtro após um período de três meses para que o sistema funcione com valores de SDI dentro da literatura sugerida.

O filtro funciona como um pré-tratamento físico. Ele é responsável pela separação de materiais particulados, argila ou material em suspensão que podem prejudicar o dessalinizador através do seu acúmulo nas superfícies dos elementos de membranas. As figuras 17 e 18 mostram o momento da troca do filtro do sistema.

Figura 17 - Troca de filtros

Fonte: LABDES, 2012.

Figura 18 - Filtro usado e filtro novo

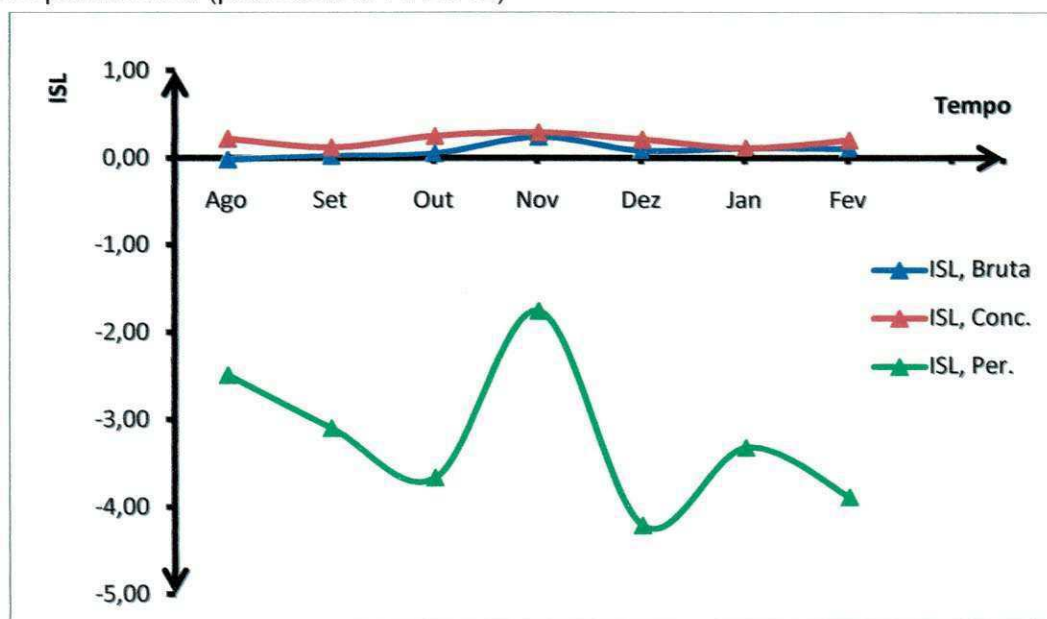
Fonte: LABDES, 2012.

Quando o filtro fica saturado com os materiais em suspensão, sua eficiência diminui e inicia-se então a passagem de material para os elementos de membrana. A troca do filtro foi efetuada após observar o SDI aumentando na análise feita pelo ponto pós-filtro.

4.6 Índice de saturação de Langelier

A Figura 19 mostra os valores calculados para o ISL que servem como indicadores de potencial de incrustação para as correntes de alimentação, concentrado e permeado.

Figura 19 – Variação do ISL na corrente de alimentação, do concentrado e do permeado. (período: 2011-2012)



Fonte: LABDES, 2012.

Observa-se que, a água de alimentação do sistema de dessalinização de Uruçu possui um valor positivo de ISL 0,25, no mês de novembro de 2011, concordando com os valores obtidos a exemplo do SDI que foi de 4,17, no mesmo mês de novembro de 2011, indicando um baixo potencial de precipitação de sais de carbonato de cálcio nas superfícies das membranas.

Os valores obtidos na corrente de água do permeado, foram satisfatórios quando relacionados com a literatura, enquanto no concentrado esses valores tornam a ser positivos, no entanto estes valores indicam baixo potencial de incrustação. Atualmente existe instalado no sistema uma bomba dosadora de HCL, sendo assim, é necessário uma regulagem desta dosagem para que os valores de ISL fiquem abaixo de zero. Para todos os fins, se faz necessária a regulagem da dosagem do HCL para minimizar, ou mesmo eliminar o potencial de precipitação de sais nas membranas.

CONCLUSÕES

Observando os resultados das limpezas químicas, análises físico-químicas e bacteriológicas, recuperação e variáveis de medidas do sistema de osmose inversa pode-se tirar as seguintes conclusões:

- A manutenção do sistema de dessalinização foi baseada na limpeza química dos elementos de membrana através da aplicação de soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico;
- As coletas de amostras para realizar as análises físico-químicas e bacteriológicas são essenciais para acompanhar as constâncias de concentrações de sais e/ou pontos críticos que representam o momento da manutenção do dessalinizador;
- A vazão do sistema tende a diminuir com o tempo devido os depósitos de sais presentes na superfície das membranas e aos altos índices de concentração de sais presentes na corrente de alimentação, conseqüentemente a recuperação do sistema e a qualidade da água produzida também diminuem;
- Os potenciais de incrustação foram positivos para as análises realizadas na corrente de alimentação e concentrado. Sendo um parâmetro importante para averiguar o potencial de incrustações de sais;
- O SDI foi um teste de filtração rápido e eficaz que garantiu a troca dos filtros de pré-tratamento no momento certo de sua manutenção, como também foi um teste indispensável para a determinação do ISL.

PERSPECTIVAS

- A partir de diferentes pré-tratamentos químicos, com base em simulações de dimensionamento, fazer um estudo mais completo sobre o efeito da dosagem dos agentes anti-incrustantes na corrente de alimentação.
- Aplicar a metodologia do SDI modificado para melhor avaliar um tipo de pré-tratamento físico adequado ao sistema de membranas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R.V., CIRNE, J.R.R, FERREIRA, W.B., FRANÇA, K.B., FRANÇA, M.I.C. **Estudo da variação do índice de densidade de sedimentos em um sistema de membranas via osmose inversa instalado do semiárido da Paraíba.** XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte. ABES, 2012.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1998.

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

CARTAXO, J. M. **Monitoramento do Pré-tratamento Químico do sistema de Dessalinização da Comunidade de Marinho – PB.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

FERREIRA, W. B. **Solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano em Comunidades difusas: Monitoramento e controle de qualidade de água.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

FILMTEC, **Filmtec reverse osmosis membranes technical manual**, Dow Chemical Company, 2007.

FRANÇA, K.B., CARTAXO, J.M, FERREIRA, W.B., SILVA, K.S., PEREIRA, M.L.F., SILVA, J.N., MONTEIRO, G.S. **Avaliação de técnicas de pré-tratamentos de águas salobras para fins de dessalinização via osmose inversa.** XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo – SP, ISSN 2179-9784, 2006.

HABERT, A.C., BORGES, C.P. e NÓBREGA, R., **Processos de separação com membranas**. Escola Piloto de Engenharia Química, COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química, 2006.

JUDD, S.; JEFFERSON, B. **Membranes for industrial wastewater recovery and re-use**. Elsevier science & technology books, 2003, Chapter 2, p. 43, 62.

LIRA, W. S.; **Recursos Naturais: uma abordagem multidisciplinar**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB; Realize, 2012.

LISITSIN, D.; HASSON, D.; SEMIAT, R. **Critical flux detection in a silicascaling RO system**. Desalination, v. 186, p. 311 – 318, December 2005

MONTEIRO, G. S. **Arranjos de membranas de Osmose Inversa: avaliação e comparação do desempenho de pequenos sistemas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. UFCG, Campina Grande – PB, 2009.

NETO, J.T.F. **Estudo e Avaliação de um sistema híbrido, membrana-resina, para fins de produção de água de baixa condutividade elétrica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2012.

NING, R. Y. **Discussion of silica speciation, fouling, control and maximum reduction**. Desalination, v. 151, p. 67-73, January 2003.

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

PESSOA, T. A. **Estudo do desempenho do sistema de nanofiltração em águas salobras**. Trabalho de Conclusão de Curso, UEPB, Campina Grande – PB, 2010.

QUEIROZ, F. R. M. **Avaliação e Comparação de um sistema de membranas de micro/nanofiltração com um sistema de Osmose Inversa aplicados nas águas salobras provenientes da Comunidade de Uruçu em São João do Cariri – PB.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2012.

SILVA, S.K., MONTEIRO, G.S., SILVA, J.N., Ferreira, W.B., FRANÇA, K.B. **Estudo do Índice de Densidade de Sedimentos em Águas Oriundas de Poços Tubulares aplicadas a Sistemas de Dessalinização Via Osmose Inversa.** Enciclopédia biosfera, v.5, p.1-6, 2009.

SILVA, S.K. **Sistema de Dessalinização da comunidade de Uruçu – São João do Cariri – PB: Análises, Monitoramento e Avaliação de um Misturador para o uso do Concentrado.** Dissertação de mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

SINGH, R., **Hybrid membrane systems for water purification: Technology, systems design and operations.** Elsevier Science & Technology Books, January 2006, p.19-20.

SKOTT K. **Handbook of Industrial Membranes.** Second edition, Publisher: Elsevier Science & Technology Books, April 1, 1999, p. 88.

VARGAS, G. M. R. “ **Fibras ocas compostas com acamada seletiva hidrofílica para osmose inversa e nanofiltração**”, Exame de qualificação ao doutorado, PEQ-COPPE, UFRJ, 2006.

VARGAS, G. M. R. **Investigação de alguns parâmetros operacionais e de rejuvenescimento na performance de Osmose Inversa.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFRGS, Porto Alegre – RS, 2003.

WATSON, I. C; MORIN, O. J. JR.; HENTHORNE, L. **Water Treatment Engineering and Research Group DESALTING HANDBOOK FOR PLANNERS**, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Third Edition Edited by RosTek Associates, Inc., Tampa, Florida, July, 2003, p. 110-115.

ANEXO A –Reagentes e equipamentos utilizados para realizar as análises.

Reagentes

1. Solução para calibração do PHMETRO, pH 4 e pH 7, Synth;
2. Solução de KCl para calibração do Condutivímetro, 1412 μ MHO/cm
3. Ácido Clorídrico, HCl, 1N;;
4. Cloreto de Potássio, KCl, P.A.;
5. Cloreto de Sódio, NaCl, P.A.;
6. Carbonato de Cálcio, CaCO₃, 0,02N
7. Hidróxido de Sódio, NaOH, 1N;
8. Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) 0,02 N P.A.;
9. Solução Tampão (NH₄Cl)+(NH₄OH) pH 10
10. Murexida, P. A.;
11. Metilorange 0,4 % P. A.;
12. Fenolftaleína P. A.;
13. Cromato de Potássio 5,0 % P. A.;
14. Negro de Eriocromo P. A.;
15. Água Deionizada;
16. Sal Dissódico (EDTA) 0,025 N, P. A.;
17. Nitrato de Prata (AgNO₃) 0,05 N P. A.;
18. Solução de calibração para Fotômetro de chama Na⁺140meq/L e K⁺5,0meq/L;
19. Cloreto de magnésio Hexahidratado (MgCl₂.6H₂O) P.A.;
20. Acetato de Sódio Trihidratado (CH₃COONa.3H₂O) P.A.;
21. Ácido Acético (CH₃COOH) (99%);
22. Sulfato de Sódio (Na₂SO₄) P.A.;
23. Cloreto de Bário (BaCl₂) P.A.;
24. Kits da Policontrol para análise de ferro total, sílica, nitrato, nitrito e amônia.

Instrumentação utilizada

1. pHmetro Digital PG 2000 da GEHAKA;
2. Condutivímetro – 600 da Analyser;

3. Colorímetro com disco de cor – NESSLER QUANTI 200 da, PoliControl;
4. Turbidímetro Hach – 2100P;
5. Pipetador eletrônico Pipetus-akku da HirschmannLaborgerateforam;
6. Bureta eletrônica da modelo akku-drive 50 ml Titanion da HirschmannLaborgerate;
7. Fotômetro de chama modelo 910 da ANALYSER;
8. Colorímetro digital modelo SMARTCOLORIMETER da LaMOTTE série 481;
9. Espectrofotômetro Biospectro SP – 220;
10. Balança analítica, HR-200;
11. Agitador magnético da 713D da Fisatom;
12. Banho Maria – Marconi;
13. Agitador de tubos AP56 – Phoenix;
14. Estufa 180°C, ORION 515 A;
15. Filtro de cartucho 5 micra;
16. Membrana de porosidade 0,45 μ .
17. Manômetro;
18. Cronômetro;

Pipetas volumétricas, béqueres, balões volumétricos, erlemmeyers, bastão de vidros, cápsulas de porcelana, pisseta, cuvetas, dessecador

ANEXO B—Análises físico-químicas do Sistema de Dessalinização da Comunidade de Uruçu – PB.

ALIMENTAÇÃO

Parâmetros	ago	set	out	nov	dez	jan	fev
Condutividade, $\mu\text{mho/cm}$	3.000,00	3.010,00	2.800,00	3.240,00	3.380,00	2.855,00	2.953,00
pH	7,81	7,25	7,52	7,61	8,47	8,00	8,35
Turbidez, (uT)	0,52	0,72	0,41	0,37	0,95	0,50	0,70
Cor, (mg Pt-Co/L).	0,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00
Dureza em Cálcio, mg/L Ca^{++}	73,20	74,00	60,40	83,00	61,80	70,80	51,20
Dureza em Magnésio, mg/L Mg^{++}	83,40	77,16	64,92	89,40	72,52	77,16	44,88
Dureza Total, mg/L CaCO_3	530,50	506,50	421,50	580,00	515,00	498,50	390,00
Sódio, mg/L	469,85	463,98	449,97	437,88	353,63	403,17	381,23
Potássio, mg/L	5,94	6,99	4,58	4,85	4,30	5,40	2,97
Alumínio, mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferro Total, mg/L	0,03	0,05	0,03	0,03	0,08	0,03	0,02
Carbonato, mg/L CaCO_3	24,00	22,40	33,60	24,00	60,00	66,40	57,60
Bicarbonato, mg/L CaCO_3	348,00	343,20	320,80	266,00	295,60	302,80	280,80
Alcalinidade Total, mg/L CaCO_3	372,00	365,60	354,40	390,00	355,60	369,20	338,40
Sulfato, mg/L	35,90	24,32	23,42	26,58	26,99	27,54	24,31
Cloreto, mg/L	614,26	620,65	541,02	681,60	524,69	609,18	513,99
Nitrato, mg/L	0,04	0,03	0,01	0,00	0,04	0,04	0,04
Nitrito, mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Amônia, mg/L	0,79	0,59	0,19	0,52	0,48	0,52	0,40
Sílica, mg/L	46,80	48,20	44,40	57,20	33,50	41,10	31,10
ISL, mg/L	-0,01	0,03	0,06	0,25	0,09	0,12	0,11
STD, mg/L	1.911,19	1.908,10	1.500,47	1.805,98	1.964,67	1.897,00	1.907,29

CONCENTRADO

Parâmetros	ago	set	out	nov	dez	dez*	jan	fev
Condutividade, $\mu\text{mho/cm}$	4.790,00	4.860,00	5.030,00	5.770,00	4.767,00	4.610,00	4.532,00	4.880,00
pH	7,89	7,48	7,37	8,23	7,82	7,60	7,35	8,09
Turbidez, (uT)	0,92	0,64	0,57	1,43	0,77	0,88	0,66	0,32
Cor, (mg Pt-Co/L).	5,00	5,00	5,00	10,00	15,00	5,00	5,00	0,00
Dureza em Cálcio, mg/L Ca^{++}	117,00	121,60	138,80	154,40	134,80	88,20	120,08	101,00
Dureza em Magnésio, mg/L Mg^{++}	134,40	117,40	144,12	191,76	145,44	114,00	128,88	104,40
Dureza Total, mg/L CaCO_3	852,50	811,50	947,50	1185,00	943,00	695,50	766,42	835,00
Sódio, mg/L	707,25	687,34	814,28	1046,31	794,48	622,30	644,09	629,46
Potássio, mg/L	10,25	9,15	11,93	15,94	14,49	8,60	8,90	10,81
Alumínio, mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferro Total, mg/L	0,03	0,06	0,03	0,08	0,01	0,03	0,03	0,03
Carbonato, mg/L CaCO_3	52,00	73,60	111,20	320,80	286,40	0,00	78,40	56,00
Bicarbonato, mg/L CaCO_3	477,60	497,20	513,20	804,80	774,80	553,60	420,80	414,90
Alcalinidade Total, mg/L CaCO_3	529,60	570,80	624,40	1125,60	1061,20	553,60	499,20	470,90
Sulfato, mg/L	194,76	180,90	212,58	398,76	343,55	77,10	180,10	178,92
Cloreto, mg/L	1089,14	1066,64	1026,88	1512,30	1224,04	957,80	1034,04	1005,80
Nitrato, mg/L	0,04	0,04	0,00	0,09	0,18	0,00	0,04	0,09
Nitrito, mg/L	0,01	0,02	0,01	0,01	0,06	0,02	0,01	0,02
Amônia, mg/L	1,19	1,06	1,26	1,18	1,18	0,62	0,90	1,10
Sílica, mg/L	73,20	60,40	82,80	112,40	98,80	72,80	62,89	38,20
ISL, mg/L	0,23	0,13	0,26	0,30	0,22	0,12	0,21	0,23
STD, mg/L	2.941,15	3.064,46	3.025,52	3.523,80	3.225,27	2.916,90	2.898,84	2.741,50

PERMEADO

Parâmetros	ago	set	out	nov	dez	dez*	jan	fev
Condutividade, $\mu\text{mho/cm}$	120,60	137,00	96,00	404,00	95,8	1.723,00	89,5	100,9
pH	6,46	6,18	6,12	7,40	6,2	7,89	6,1	6,3
Turbidez, (uT)	0,10	0,23	0,25	0,20	0,2	1,21	0,2	0,2
Cor, (mg Pt-Co/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0	10,00	0	0
Dureza em Cálcio, mg/L Ca^{++}	9,80	4,80	5,50	6,00	0,6	46,80	1,4	3
Dureza em Magnésio, mg/L Mg^{++}	1,32	3,12	1,20	3,80	1,6	24,96	1	1,8
Dureza Total, mg/L CaCO_3	30,00	25,00	18,75	31,00	8	221,00	7,5	15
Sódio, mg/L	22,33	26,85	14,51	46,90	20,6	262,18	19,6	18,2
Potássio, mg/L	0,32	0,27	0,17	0,70	0,2	3,50	0,2	0,3
Alumínio, mg/L	0,07	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,04	0
Ferro Total, mg/L	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0
Carbonato, mg/L CaCO_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0	3,20	0	0
Bicarbonato, mg/L CaCO_3	28,00	30,40	11,00	39,60	20	125,60	17,2	10
Alcalinidade Total, mg/L CaCO_3	28,00	30,40	11,00	39,60	20	128,80	17,2	10
Sulfato, mg/L	5,16	5,73	1,47	6,70	4,3	43,69	4,3	0,3
Cloreto, mg/L	31,24	34,08	30,18	63,90	21,3	479,96	21,3	32
Nitrato, mg/L	0,22	0,00	0,18	0,27	0,31	0,04	0,22	0,27
Nitrito, mg/L	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Amônia, mg/L	0,01	0,00	0,00	0,00	0	0,70	0	0
Sílica, mg/L	2,10	1,80	1,30	3,00	1,8	55,90	1,4	0,9
ISL, mg/L	-2,48	-3,09	-3,66	-1,75	-4,21	-3,32	-3,89	-3,71
STD, mg/L	76,75	83,75	67,94	279,70	75,1	1.072,91	70,3	68,9

ANEXO C – Análises microbiológicas da alimentação e do concentrado.

Alimentação

MÊS	Escherichia coli	Coliformes Totais
Agosto	Presença	Presença
Setembro	Presença	Presença
Outubro	Presença	Presença
Novembro	Presença	Presença
Dezembro	Presença	Presença
Janeiro	Presença	Presença
Fevereiro	Presença	Presença

Concentrado

MÊS	Escherichia coli	Coliformes Totais
Agosto	Presença	Presença
Setembro	Presença	Presença
Outubro	Presença	Presença
Novembro	Presença	Presença
Dezembro	Presença	Presença
Janeiro	Presença	Presença
Fevereiro	Presença	Presença